

C&S SIG

*UMA ANÁLISE SIG DE CARTOGRAFIA DOS SÉCULOS XVI AO XIX
COMO CONTRIBUTO PARA O CONHECIMENTO DA
EVOLUÇÃO MORFODINÂMICA DA FOZ DO RIO TEJO*

Maria de Fátima Mata Monge Valverde

Trabalho de Projecto apresentado como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas
de Informação Geográfica

NOVA Information Management School

NOVA Information Management School

Universidade Nova de Lisboa

**UMA ANÁLISE SIG DE CARTOGRAFIA DOS SÉCULOS XVI AO XIX
COMO CONTRIBUTO PARA O CONHECIMENTO DA
EVOLUÇÃO MORFODINÂMICA DA FOZ DO RIO TEJO**

por

Maria de Fátima Mata Monge Valverde

Trabalho de Projeto apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica.

Orientador: Professor Doutor Pedro da Costa Brito Cabral.

Co-orientador: Professor Doutor Rui Pires de Matos Taborda.

2016

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Pedro Cabral, por ter aceitado esta orientação e pela permanente ajuda, técnica e humana, ao longo deste tempo. Ao Professor Rui Taborda, meu co-orientador, pela imediata disponibilidade e contribuição de ideias.

Ao Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (DG/FCUL) pelo suporte a este projeto, disponibilizando meios logísticos e a informação base para o trabalho, sem a qual o mesmo não seria possível.

Aos Professores César Andrade, Conceição Freitas, Nuno Gomes e Óscar Ferreira e às colegas Ana Bastos, Aurora Rodrigues, Cristina Lira, Mafalda Carapuço, Sara Rodrigues e Tanya Silveira, por toda a ajuda recebida.

Aos demais professores, técnicos e colegas da NOVA Information Management School (NOVAIMS) da Universidade Nova de Lisboa (UNL) e do DG/FCUL, pela simpatia e encorajamento recebido.

Ao Vasco, à Inês e à Leonor, pela paciência e apoio incondicional.

UMA ANÁLISE SIG DE CARTOGRAFIA DOS SÉCULOS XVI AO XIX COMO CONTRIBUTO PARA O CONHECIMENTO DA EVOLUÇÃO MORFODINÂMICA DA FOZ DO RIO TEJO

RESUMO

O presente trabalho de projeto baseia-se em mapas antigos em papel, tem como área de estudo a Foz do Rio Tejo e propõe uma metodologia de georreferenciação e álgebra de mapas, com interesse para o ordenamento costeiro da zona.

É objetivo deste trabalho a produção e comparação de modelos digitais de profundidade da zona, a partir dos dados constantes em mapas antigos, para contribuir para o conhecimento da evolução morfodinâmica daquela área (perspetiva histórica numa série temporal alargada).

Um conjunto de mapas dos séculos XVI ao XIX, contendo dados batimétricos, foram georreferenciados. Destes, apenas dois mapas do século XIX, cumpriram o critério de validação (erro médio quadrático) para geração dos respectivos modelos digitais de profundidade. O resultado final é a produção dos *Raster* de Diferenças de Profundidade (RDP), entre as datas do século XIX e a Situação de Referência (século XX), que mostra variações de profundidades (aumento ou diminuição) à escala secular. Foi realizada uma análise qualitativa/semiquantitativa adicional para os séculos XVI ao XIX, analisando, para elementos morfológicos da área, a toponímia, a orientação, a razão de áreas e profundidades médias.

Do exercício metodológico que constitui esta tese, resulta a consideração de inadequação do método de comparação de modelos digitais de profundidades para mapas (contendo informação batimétrica) anteriores ao século XIX e/ou que não possuam adequada qualidade de dados. Considerando ainda os resultados obtidos nos RDP, pode deduzir-se uma genérica estabilidade do sistema presente e a manutenção dos elementos morfológicos na Foz do Rio Tejo, ao longo de quatro séculos, confirmada pela resultados da análise qualitativa/semiquantitativa realizada.

A GIS ANALYSIS OF 16TH CENTURY TO 19TH CENTURY CARTOGRAPHY AS A CONTRIBUTION TO THE TAGUS RIVER MOUTH MORPHODYNAMIC EVOLUTION STUDY

ABSTRACT

The project resulting from this thesis is based in the application of a georeferencing methodology over the river Tagus mouth using map algebra and geospatial analysis over ancient paper printed maps. The main goal is to produce and compare digital terrain models (DTM) based on depth data of old paper maps, contributing to a better understanding of the morphological evolution of the study area. The obtained maps, from 16th century to 19th century, with bathymetric data were georeferenced. Within these, and according to their quality, only two maps from 19th century were considered valid for spatial analysis. The comparison of these two maps with the 20th century map reference, show depth changes (increase or decrease) over, approximately, a century time lapse. An additional semi-quantitative analysis was performed for all the available maps. This work allows to conclude that: 1) the method for comparing bathymetry based on DTM is not adequate when applied to insufficient data quality maps, namely those produced prior to 19th century; and 2) there is a morphodynamic stability of the study area system over the last four centuries, according to the available maps, at a macroscopic time scale.

PALAVRAS-CHAVE

Estuário do Tejo / Portugal; Mapas Antigos; Batimetria; Georreferenciação; Álgebra em MDT.

KEYWORDS

Tagus estuary / Portugal; Historic maps; Bathymetry; Georeferencing; DEM Algebra.

ACRÓNIMOS E SIGLAS

AE	Área de Estudo
BNP	Biblioteca Nacional de Portugal
CAOP	Carta Administrativa Oficial de Portugal
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
EMQ	Erro Médio Quadrático
ETRS	<i>European Terrestrial Reference System</i>
GCP	<i>Ground Control Points</i>
GIS	<i>Geographic Information Systems</i>
IDW	Inverse Distance Weighting
IGP	Instituto Geográfico Português
IH	Instituto Hidrográfico
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
RIT	Rede Irregular Triangulada
RDP	<i>Raster de Diferenças de Profundidade</i>
ST	Situação de Referência
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
PALAVRAS-CHAVE	vii
KEYWORDS.....	vii
ACRÓNIMOS E SIGLAS.....	viii
ÍNDICE DE TABELAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivo do Trabalho	2
1.3 Metodologia Geral.....	2
1.4 Hipótese de Tese	2
1.5 Pressupostos.....	3
1.6 Organização do Texto	4
2. CONCEITOS GERAIS	5
2.1 Conversão Analógico-Digital	5
2.1.1 Digitalização	5
2.1.2 Georreferenciação.....	5
2.1.3 Vectorização	7
2.2 Análise Espacial e Álgebra de Mapas.....	7
2.3 Morfodinâmica da Foz e outros Conceitos	8
3. DADOS E MÉTODOS	12
3.1 Dados	12
3.2 Métodos.....	16
3.2.1 Área de Estudo	18
3.2.2 Situação de Referência	22
3.2.3 Digitalização	24
3.2.4 Georreferenciação.....	24
3.2.5 Vectorização	29
3.2.6 Geração de MDT.....	32
3.2.7 Álgebra de Mapas.....	35
3.2.8 Dados Qualitativos e Semiquantitativos	37
4. RESULTADOS	40
4.1 Análise Quantitativa	40

4.2	Análise Qualitativa e Semiquantitativa	54
5.	CONCLUSÕES	59
5.1	Limitações e Trabalhos Futuros.....	63
	BIBLIOGRAFIA	66
	ANEXO A – Mapas Antigos Seleccionados	71
	ANEXO B – Dados Qualitativos dos Mapas Seleccionados	90
	ANEXO C – Faróis e Monumentos Seleccionados.....	102
	ANEXO D – Apresentações Públicas do Trabalho	104

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – MAPAS SELECCIONADOS PARA A FASE MDT.	14
TABELA 2 – MAPAS SELECCIONADOS PARA A FASE ANÁLISE SEMIQUANTITATIVA.	15
TABELA 3 – OUTRAS FONTES DE DADOS BASE UTILIZADAS.	16
TABELA 4 – EMQ PARA Nº DE PONTOS DE CONTROLE/TIPO DE ALGORITMO NA GEORREFERENCIAÇÃO DO MAPA DE 1680.	26
TABELA 5 – CAMPOS DA ENTIDADE LINHA (<i>FEATURE LINE</i>) CURVAS_DATA HISTORICA CRIADA.	29
TABELA 6 – CAMPOS DA ENTIDADE PONTO (<i>FEATURE POINT</i>) PONTOS_DATA HISTORICA CRIADA.	29
TABELA 7 – CAMPOS DA ENTIDADE LINHA (<i>FEATURE LINE</i>) LIM_ARENOSOS_DATA HISTORICA CRIADA.	30
TABELA 8 – INTERPOLADORES E PARÂMETROS APLICADOS AO MAPA 1765.....	35
TABELA 9 – CORRESPONDÊNCIA ENTRE AS ANTIGAS UNIDADES DE BATIMETRIA E AS UNIDADES ATUAIS (GUERREIRO & GODINHO, 2005).	38
TABELA 10 – ESTATÍSTICAS RECOLHIDAS SOBRE A AE E ST.	41
TABELA 11 – DESVIOS POSICIONAIS (M) NOS MAPAS OITOCENTISTAS: 1811, 1857, 1882.	44
TABELA 12 – INFORMAÇÕES DOS MAPAS 1811 E 1857.	46
TABELA 13 – ELEMENTOS VECTORIZADOS NOS MAPAS 1811 E 1857 E DADOS DA SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA.	46
TABELA 14 – ESTATÍSTICAS DOS MDT DAS DATAS 1811, 1857 E SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA.	47
TABELA 15 – ESTIMATIVAS OBSERVADAS NOS PERFIS DA FIGURA 27.	50
TABELA 16 – ESTATÍSTICAS DOS RDP PARA AS DATAS 1857/1811, ST/1857 E ST/1811	54

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – ACUMULAÇÕES SEDIMENTARES TÍPICAS DE UMA EMBOCADURA DE MARÉ MESOTIDAL (ADAPTADO DE [DAVIS (1994), MODIFICADO POR BARROSO (2009) IN CARVALHO, 2013]).	9
FIGURA 2 – FLUXOGRAMA DOS MÉTODOS APLICADOS E EVOLUÇÃO DO MODELO DE DADOS DIGITAL.	17
FIGURA 3 – A ÁREA DE ESTUDO (AE) (DELIMITADA A PRETO), A FOZ DOS RIOS TEJO E SADO E A ÁREA ENVOLVENTE (CAOP, 2014) (IMAGEM LANDSAT NO GOOGLE EARTH, 2013).	18
FIGURA 4 – ÁREA DE ESTUDO (AE) DELIMITADA A CHEIO/PRETO E REPRESENTAÇÕES ESQUEMÁTICAS SIMPLIFICADAS DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS MORFOLÓGICOS DA FOZ DO RIO TEJO (IH, 2006 E TABORDA & ANDRADE, 2014) (CAOP, 2014).	19
FIGURA 5 – MODELO DE CIRCULAÇÃO SEDIMENTAR DO ESTUÁRIO EXTERIOR DO TEJO E REGIÃO ADJACENTE (TABORDA & ANDRADE, 2014).	20
FIGURA 6 – THE ENTRANCE OF THE TAGUS ESTUARY (MOTA-OLIVEIRA, 1992).	21
FIGURA 7 – EVOLUÇÃO DA RESTINGA DA COVA DO VAPOR E LINHA DE COSTA (A.) NO SÉC. XIX (FREIRE, 1989) (B.) NO SÉC. XX (VELOSO GOMES ET AL., 2009).	21
FIGURA 8 – EVOLUÇÃO DA ILHA DO BUGIO NA 2ª METADE DO SÉCULO XX, SOBRE IMAGENS LANDSAT (LIRA & TABORDA, 2014).	21
FIGURA 9 – MODELOS BATIMÉTRICOS DO TEJO (IH, 2011) E DA CAPARICA (IH, 2009) NA ÁREA DE ESTUDO.	23
FIGURA 10 – FLUXOGRAMA (MODEL BUILDER) DA GERAÇÃO DO RASTER BATIMÉTRICO NA SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA (SÉC. XX).	23
FIGURA 11 – BASE VECTORIAL DE PONTOS HISTÓRICOS (FARÓIS E MONUMENTOS).	25
FIGURA 12 – APLICAÇÃO DE ALGORITMOS DE TRANSFORMAÇÃO (TABELA 4) AO MAPA DE 1680 (KEULEN IN BALDAQUE DA SILVA, 1893) (AE E CAOP, 2014, A COR VERDE).	27
FIGURA 13 – EXEMPLO DE ELEMENTOS DISPONÍVEIS PARA VECTORIZAÇÃO. (A.) MAPA DE 1765 (BURGIS IN BALDAQUE DA SILVA, 1893). (B.) MAPA DE 1857 (SILVA ET AL., 1857). (AE E CAOP, 2014, A COR VERDE).	31
FIGURA 14 – MODEL BUILDER DA SELEÇÃO DOS PONTOS COM FUNDO PEDRA E NÃO PEDRA (MAPA 1857).	32
FIGURA 15 – EVOLUÇÃO DO MODELO DE DADOS BATIMÉTRICO (EM CIMA, DA ESQ. PARA A DTA.) (AE E CAOP, 2014, A VERDE) E (EM BAIXO) CORRESPONDENTE FLUXOGRAMA (MODEL BUILDER) DA GERAÇÃO DO MDT PARA O MAPA DE 1765 (BURGIS IN BALDAQUE DA SILVA, 1893).	34
FIGURA 16 – INTERPOLADORES APLICADOS AO MAPA 1765 (BURGIS IN BALDAQUE DA SILVA, 1893) (A. IDW, B. KRIGGING, C. NATURAL NEIGHBOR, D. SPLINE E TREND). TIN (F.) (AE A PRETO).	35
FIGURA 17 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DAS DIFERENÇAS DE PROFUNDIDADE: À ESQ. NEGATIVA, À DTA., POSITIVA; LINHA A CHEIO = DATA RECENTE, LINHA A TRACEJADO = DATA ANTIGA.	36
FIGURA 18 – EXEMPLO DE RDP ENTRE AS DATAS ST E 1765 (AE A PRETO) (CAOP, 2014 A CINZENTO). (A.) 255 CORES. (B.) 10 CLASSES CROMÁTICAS INCLUINDO [-1,1].	37
FIGURA 19 – LOCALIZAÇÃO DOS LOCAIS DE LEITURA DA PROFUNDIDADE DO CANAL PRINCIPAL NO MAPA DE 1583 (IN FERREIRA LEMOS, 197?) (AE A VERDE) (IMAGEM DE FUNDO: IGP, 2005).	39
FIGURA 20 – AE (A PRETO) E LOCALIZAÇÃO DOS SEGMENTOS (A VERMELHO) MEDIDOS NA TABELA 10 (CAOP, 2014 A CINZENTO).	41
FIGURA 21 – GRÁFICO DOS ERROS MÉDIOS QUADRÁTICOS (EMQ) OBTIDOS NAS OPERAÇÕES DE GEORREFERENCIAÇÃO DOS MAPAS ANTIGOS.	42
FIGURA 22 – GRÁFICO DOS DESVIOS POSICIONAIS (M) NOS FARÓIS NA AE (S. JULIÃO DA BARRA E BUGIO).	43
FIGURA 23 – GRÁFICO DOS DESVIOS POSICIONAIS DOS MAPAS, NOS PONTOS DE AFERIÇÃO DA QUALIDADE DA GEORREFERENCIAÇÃO.	44

FIGURA 24 – MAPAS SELECIONADOS PARA PRODUÇÃO DE MDT. A. 1811 (FRANZINI, 1811) B. 1857 (SILVA <i>ET AL.</i> , 1857) (AE A PRETO) (CAOP, 2014, A CINZENTO).	45
FIGURA 25 – ELEMENTOS VECTORIAIS DOS MAPAS DE 1811 (A AZUL) E 1857 (A ROSA). AE A PRETO. CURVAS BATIMÉTRICAS DA ST NO FUNDO, A CINZA CLARO. (CAOP, 2014, A CINZENTO).....	46
FIGURA 26 – MODELOS DIGITAIS DE TERRENO (A.) MAPA DE 1811, (B.) MAPA DE 1857, (C.) SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA (SÉC. XX). (AE A PRETO) (CAOP, 2014, A CINZENTO).	48
FIGURA 27 – PERFIS LONGITUDINAIS DO FUNDO DO CANAL PRINCIPAL (AO LONGO DO SEGMENTO DE LINHA D. NA FIGURA 20), GERADOS A PARTIR DOS MDT (A.) 1811 (B.) 1857 (C.) ST.	49
FIGURA 28 – RASTER DE DIFERENÇAS DE PROFUNDIDADE (RDP). (AE A PRETO) (CAOP, 2014, A CINZENTO). (A.) ENTRE 1857 E 1811 (B.) ENTRE ST (SÉC. XX) E 1857. VALORES POSITIVOS – REMOÇÃO DE SEDIMENTO MÓVEL/EROSÃO (TONS VERDES). VALORES NEGATIVOS – DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTO MÓVEL/ACREÇÃO (TONS ROXOS). VALORES NA “TOLERÂNCIA DE MEDIÇÃO” – SEM MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTO MÓVEL (COR CREME). LOCALIZAÇÕES APROXIMADAS DOS ELEMENTOS MORFOLÓGICOS NA FOZ DO RIO TEJO.	51
FIGURA 29 – RDP ENTRE ST (SÉCULO XX) E 1811. (AE A PRETO) (CAOP, 2014, A CINZENTO). VALORES POSITIVOS – REMOÇÃO DE SEDIMENTO MÓVEL/EROSÃO (TONS VERDES). VALORES NEGATIVOS – DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTO MÓVEL/ACREÇÃO (TONS ROXOS). VALORES NA “TOLERÂNCIA DE MEDIÇÃO” – SEM MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTO MÓVEL (COR CREME). LOCALIZAÇÕES APROXIMADAS DOS ELEMENTOS MORFOLÓGICOS NA FOZ DO RIO TEJO.....	53
FIGURA 30 – VISUALIZAÇÃO DO FUNDO ROCHOSO DE 1857 SOBRE OS RDP, DO MAIS ANTIGO PARA O MAIS RECENTE (A.) 1857/1811 (B.) ST/1857. (AE A PRETO) (CAOP, 2014, A CINZENTO).....	54
FIGURA 31 – TOTAL DAS OCORRÊNCIAS DE ORIENTAÇÕES APROXIMADAS DOS ELEMENTOS MORFOLÓGICOS DA FOZ DO RIO TEJO, NOS MAPAS.....	56
FIGURA 32 – GRÁFICO DA RAZÃO DAS ÁREAS ENTRE O BANCO NORTE E O BANCO SUL, NOS MAPAS ANTIGOS.	57
FIGURA 33 – PROFUNDIDADE MÉDIA EM CADA SECTOR DO CANAL SUL, POR MAPA ANTIGO.....	58
FIGURA 34 – PROPOSTA DE EVOLUÇÃO TEMPORAL DA ANÁLISE A REALIZAR EM MAPAS ANTIGOS, PARA CONTRIBUTO DE INFORMAÇÃO SOBRE A EVOLUÇÃO DA MORFODINÂMICA DA FOZ DO RIO TEJO.	63

1. INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

*“E já no porto da ínclita Ulisseia,
Cum alvoroço nobre e cum desejo
(Onde o licor mistura e branca areia
Co salgado Neptuno o doce Tejo)
As naus prestes estão; e não refreia
Temor nenhum o juvenil despejo,
Porque a gente marítima e a de Marte
Estão pera seguir-me a toda a parte”*

Canto IV – Os Lusíadas, Luís Vaz de Camões, 1572.

Desde tempos imemoriais que a foz do rio Tejo (e porto de Lisboa) é um importante ponto marítimo de chegada e partida de diversos povos, proporcionando um extenso intercâmbio económico, social e cultural. Para tal, em muito contribuiu a sua posição geográfica no País e na Europa bem como as naturais e invejáveis condições de navegação e segurança (APL, 2008).

Um marco histórico importante para esta zona e para o desenvolvimento de algumas ciências, foram os Descobrimentos Marítimos Portugueses. A expansão do mundo conhecido obrigou, na época, à criação de novas técnicas de navegação e permitiu o florescimento de uma forma específica de representação cartográfica: as cartas de marear, documentos práticos que auxiliavam a navegação marítima nas costas e nos portos (ALVES GASPAR, 2011).

Muitas dessas cartas chegaram aos nossos dias graças a oficinas de impressão de mapas no estrangeiro, sendo a região de Lisboa uma das mais representadas no panorama do litoral português, desde o século XVI (ALEGRIA & DIAS, 2000).

Toda essa movimentação na Foz do Rio Tejo, ao longo dos séculos, por razões comerciais ou políticas, exigiu intervenções humanas que se destinaram a promover, nomeadamente, a circulação marítima da zona, as capacidades portuárias da região e a defesa da mesma, alterando, inevitavelmente, o sistema natural presente (BALDAQUE DA SILVA, 1893).

Como tal, é imperioso conhecer o sistema e a sua dinâmica: o conjunto de entidades que o formam, como se interrelacionam, as funções/processos que as controlam e como se organizam. E no que respeita ao estudo e modelação de fenómenos ambientais (que envolvem frequentemente uma componente espacial), é relevante referir aqui que o advento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem vindo a trazer outras abordagens e capacidades, com vantagens evidentes ao nível, por exemplo, do armazenamento de dados de forma integrada e eficiente, da visualização gráfica dos resultados e da ligação com outras informações (CABRAL, 2011).

“In the strictest sense, a GIS is a computer system capable of assembling, storing, manipulating, and displaying geographically referenced information, i.e, data identified

according to their locations. Practitioners also regard the total GIS as including operating personnel and the data that go into the system.” USGS, 2007 in PAINHO & CURVELO, 2011. Num sentido restrito, um SIG é um sistema computacional capaz de reunir, armazenar, manusear e apresentar informação referenciada geograficamente, i.e., dados identificados conforme as suas localizações. Num sentido lato, os utilizadores também consideram os SIG como integrando a componente humana e o conjunto de dados que entram no sistema.

No entanto, existem algumas barreiras à eficaz utilização das ferramentas SIG: tipologia das fontes de dados e a sua qualidade intrínseca e extrínseca, as escalas espaciais e temporais dos mesmos, a referenciação e estrutura dos diversos conjuntos de dados (NEVES, 2011). Estas limitações são particularmente pertinentes no que respeita a dados de mapas históricos pois, segundo CHRISMAN, 1982 (*in* PAINHO & CURVELO, 2011), “...qualquer mapa é um fóssil, refletindo a tecnologia utilizada na sua produção...”. Portanto a realização de análises comparativas com base em tecnologia SIG deve, nestes casos, ser prudente e ponderada de forma a não induzir conclusões díspares da realidade (GUERREIRO & GODINHO, 2005).

1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

É objetivo deste trabalho a contribuição para o conhecimento da evolução morfodinâmica da Foz do Rio Tejo (área de estudo), através da produção e comparação de modelos digitais de profundidade da zona, com base nos dados de profundidade constantes em mapas dos séculos XVI ao XIX.

1.3 METODOLOGIA GERAL

Para atingir o objetivo do trabalho, propôs-se a realização das seguintes tarefas sequenciais, para a Área de Estudo (AE):

- a) Inventariação da informação base,
- b) Conversão analógico-digital,
- c) Análise espacial quantitativa.

1.4 HIPÓTESE DE TESE

Pretende-se verificar se é ou não possível aplicar a metodologia de comparação de Modelos Digitais de Terreno (MDT) de Profundidade à cartografia histórica de forma a contribuir com dados quantitativos para o conhecimento da morfodinâmica da Foz do Rio Tejo, nos seus elementos morfológicos principais.

Algumas representações cartográficas desta zona são peças de grande beleza. Para lá dessa característica superficial, muitas tinham objetivo prático de auxiliar a entrada no rio e, como tal, contêm informação interessante sobre a Foz do mesmo. Nomeadamente, representam as profundidades e as acumulações sedimentares da zona – importantes por razões de navegação e por razões da dinâmica morfológica do sistema presente (estuário

exterior do Rio Tejo). Estes dados, com a análise adequada, podem dar um contributo valioso sobre essas alterações, nesta zona, ao longo dos séculos.

Ao interesse do projeto, acresce a convicção de que, estes aspectos menos imediatos dos sistemas podem contribuir para o ordenamento do território, no caso vertente, a área da cidade capital, nomeadamente no que respeita às atividades turísticas e socioeconómicas associadas ao rio e à sua zona litoral e da gestão da respectiva zona costeira, sendo fatores de decisão na concretização deste trabalho.

1.5 PRESSUPOSTOS

Consideram-se os seguintes pressupostos do trabalho:

- a) O presente projeto incide exclusivamente sobre o conjunto de mapas antigos em fotocópia existentes no Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (DG/FCUL), sem menosprezar a existência e importância de outros mapas que possam conter informação interessante sobre a zona de estudo; o intervalo temporal escolhido tem como limiar o século XVI, em resultado das datas disponíveis e da qualidade dos mapas do espólio referido e como limite o século XIX, em virtude da diferenciação técnica e metodológica registada nos séculos posteriores e do maior número de estudos, sobre esta temática, realizado nesta área.
- b) Os meios informáticos, logísticos e técnicos bem como a diversa informação cartográfica de base foram disponibilizados, pelo DG/FCUL e Nova Information Management School da Universidade Nova de Lisboa (NOVAIMS/UNL) exclusivamente para o efeito académico da presente tese de mestrado.
- c) Considera-se que os dados de profundidade indicados nos mapas antigos e o posicionamento relativo das estruturas na Foz do Rio Tejo, são o mais fiáveis possível (considerando as técnicas históricas). Isto porque se assume que para segurança da navegação na entrada/circulação/saída do porto de Lisboa, fosse imperioso que as cartas de auxílio à mesma fossem o mais corretas possível. Foi o recurso a bibliografia que possibilitou a “atribuição” das unidades utilizadas para as profundidades, nos mapas que não tinham essa indicação (a maioria do espólio).
- d) Considerando a macro-escala temporal de análise neste trabalho (secular), assume-se que cada mapa representa uma informação de um determinado momento temporal ao nível do século; pelo que não se estudaram, neste trabalho, variações a microescala (resultantes ou não, de alterações sazonais e/ou locais).

- e) os erros de posicionamento acumulados – pela deformação do papel, induzidos pelo *scanner*, resultantes da georreferenciação, provocados pelas diferentes técnicas ao longo dos tempos, entre outros – consideram-se embebidos no tamanho do *pixel* adoptado para este trabalho.

As características intrínsecas e extrínsecas da informação base utilizada no trabalho agora proposto (nomeadamente o suporte disponível, a variação das escalas e das técnicas de representação cartográfica, o desconhecimento das unidades de trabalho e das coordenadas utilizadas, a incerteza sobre formas de recolha dos dados de profundidade, a aparente existência de originais e cópias por diversos autores) são elementos diminuidores da fiabilidade da informação final, pelo que se inicia este trabalho com consciência dessas limitações.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O texto da tese está organizado em 5 Capítulos, Bibliografia e 4 Anexos.

O Capítulo 1 procede ao enquadramento e à apresentação dos objectivos e metodologia do trabalho.

No Capítulo 2 descrevem-se de forma breve, os principais conceitos inerentes à metodologia proposta, apoiados numa revisão de literatura.

O Capítulo 3 apresenta a área de estudo, os dados obtidos e a metodologia utilizada no caso em estudo.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados atingidos.

No Capítulo 5 resumem-se as conclusões obtidas neste trabalho de projeto. Tecem-se algumas considerações sobre as suas limitações e apontam-se algumas direcções para trabalhos futuros.

2. CONCEITOS GERAIS

Para apresentar o trabalho realizado, importa referir, de forma breve, alguns dos conceitos teóricos inerentes aos métodos aplicados, recorrendo-se à adaptação de informação constante em diversa bibliografia. Deu-se prioridade a bibliografia de expressão portuguesa, numa tentativa de contornar os problemas das definições dos conceitos e das respetivas traduções, dado que estes não são o objetivo do presente projeto.

2.1 CONVERSÃO ANALÓGICO-DIGITAL

2.1.1 Digitalização

Considerando que, de modo geral, a digitalização é a transformação de dados analógicos para dados digitais (ALVES GASPARG, 2008), podemos dizer, de modo particular, que é uma operação de conversão das diferentes tonalidades (a cores, em tons de cinzento ou preto e branco) de um suporte normalmente papel para um suporte informático.

O resultado pode encontrar-se no modelo vectorial (conjunto de linhas, pontos e polígonos em determinadas posições) ou no modelo *raster*/matricial (matriz regular, composta de células (ou pixéis) dispostas em colunas e linhas).

No caso do modelo vectorial, pode-se usar uma mesa digitalizadora para, a partir de uma carta em papel se extraírem os elementos de interesse através da utilização de um periférico apontador. Esta opção já caiu em desuso, privilegiando-se, actualmente, a digitalização a partir do monitor. Esta operação é discutida no capítulo 3.2.5.

No caso *raster*, normalmente recorre-se a um *scanner* para digitalizar imagens em papel para o computador. O resultado é uma estrutura de dados matricial onde o valor dos pixéis corresponde à cor ou ao tom de cinzento do mapa original.

2.1.2 Georreferenciação

Este termo envolve as noções de correção e transformação geométrica e de ortorrectificação de imagens *raster* que não têm referência espacial associada. Pode entender-se a georreferenciação de mapas rasterizados como uma forma de correção planimétrica da posição geográfica e transformação da forma geométrica da imagem perante outro mapa de controle (BONHAM-CARTER, 1994). É aplicado um algoritmo de transformação a um conjunto de pares de pontos (identificados e não colineares) sobre um mapa origem (*raster*) estando os seus homólogos num mapa destino, estável e de melhor qualidade (*raster* ou vector) obrigando a uma justaposição vertical dos mesmos. Os pares de pontos designam-se pontos de controle ou *ground control points* (GCP).

Na aplicação do algoritmo aos pontos de controle, a justaposição entre pontos é quantificada através da determinação do *root mean square error* (RMS) ou erro médio quadrático (EMQ) – desvio entre série de valores de uma variável e a correspondente série de valores de referência e é um estimador utilizado como medida da magnitude da

exatidão de um processo (portanto o grau de conformidade dos valores relativamente ao padrão). Assim pode considerar-se que, dependendo da transformação usada, a qualidade do processo, *i.e.*, do ajuste do mapa *raster* antigo original ao mapa atual, é tanto maior quanto menor o EMQ (se o erro é baixo o ajuste é bom, se o erro é alto o ajuste é mau). O sucesso da operação de georreferenciação depende menos da quantidade de pontos e mais da qualidade intrínseca de cada ponto e da distribuição espacial equilibrada e homogênea de pontos no *raster* original.

Os valores limite do erro a aceitar em cada operação dependem da finalidade da nova imagem e da qualidade do *raster* original. Em ESRI, 2013b encontra-se a indicação de que o valor total de EMQ (média dos erros residuais do conjunto de pontos) deve ser igual ou menor ao valor do *pixel* com que se pretende trabalhar com a imagem final.

Podem utilizar-se vários algoritmos de transformação na georreferenciação dependendo dessa escolha da quantidade de pontos de controle seleccionados, ou possíveis e do resultado pretendido para a imagem final: polinomial, *spline*, *adjust* ou projectivo.

A transformação polinomial aplica uma função polinomial e o algoritmo de ajuste dos mínimos quadrados (*least-squares fitting*) aos pontos de controle. Está optimizada para exatidão global do mapa, não garantindo exatidão local. O número de pontos necessários é:

- 1 ponto de controle para transformação polinomial de ordem zero (*Shift*),
- 3 pontos de controle para transformação polinomial de 1ª ordem (*Affine*),
- 6 pontos de controle para transformação polinomial de 2ª ordem,
- 10 pontos de controle para transformação polinomial de 3ª ordem.

A polinomial *Shift* é usada em mapas que já têm referência espacial e necessitam apenas de uma deslocação. A polinomial *Affine* é usada para georreferenciar *raster* e aplica translação, escalamento e rotação (mantendo as relações entre os elementos). O resultado é, em geral, a manutenção das linhas direitas com prejuízo da forma (quadrados convertidos em paralelogramos). As polinomiais de 2ª ou 3ª ordem são usadas para corrigir distorções mais complexas e aplicam torsões e curvaturas.

A transformação *Spline* é um método *rubber-sheeting* (numa tradução livre “folha de borracha”), que usa uma função *spline* optimizada para a exatidão local em detrimento da global. Esta transformação converte exactamente os pontos de controle origem nos pontos destino mas não garante a exatidão nos pixels distantes do conjunto dos pontos de controle.

A transformação *Adjust* optimiza os mínimos quadrados e a exatidão local (usa um algoritmo que combina técnicas de triângulos irregulares (*Triangulated Irregular Network (TIN)*) com a função polinomial).

A transformação projectiva também mantém linhas direitas do mapa origem para o mapa destino. O EMQ é zero se forem usados 4 pontos de controle e um pouco superior quando

se recorre a maior número de pontos. É útil em imagens oblíquas, alguns mapas digitalizados e alguns produtos de imagens de satélite.

A gravação da imagem transformada numa nova imagem faz-se com técnicas de reamostragem sendo as 3 mais comuns a do vizinho mais próximo (de processamento mais rápido e, como não altera os valores do *raster* original, é adequada a dados temáticos), a interpolação bilinear (cada célula do *raster* novo é uma média ponderada dos valores das 4 células próximas e adequada a fenómenos que se representam como superfícies contínuas) e a convolução cúbica (similar à anterior mas usa 16 células vizinhas).

2.1.3 Vectorização

A vectorização é, por definição, um processo semiautomático ou automático (se tem ou não intervenção humana) que transforma outros dados (por exemplo, matriciais) em dados vectoriais. O elemento básico é o ponto, acrescentando depois as linhas (sucessão contígua de pontos ligados) e os polígonos (conjunto de linhas ligadas fechadas que definem uma área). Muitos SIG já utilizam estes elementos organizados em estruturas topológicas e onde já intervêm noções de relacionamento espacial, geometria e grafos (nós e arcos) (MATOS, 2001).

2.2 ANÁLISE ESPACIAL E ÁLGEBRA DE MAPAS

Considerando um SIG como uma ferramenta de modelação de fenómenos geográficos (naturais ou não), com a inerente informação de posicionamento no espaço terrestre, é inevitável pensar que se podem fazer perguntas ao modelo sobre os atributos dos fenómenos, sobre a sua posição e sobre as relações entre fenómenos. A análise espacial é o conjunto de operações de geometria que permitem inquirir os dados espaciais (vectoriais ou matriciais), produzindo novos dados que respondem à inquirição.

As funções de análise espacial são várias, tanto num sistema vectorial (ex: sobreposição, proximidade, extração/fusão) como num sistema matricial (locais, zonais). De acordo com MALCZEWSKI, 1999 in CABRAL, 2015, agrupam-se em 7 as principais operações de análise espacial e nas quais se destacam as que serão utilizadas no presente projeto:

- Medida (cálculo da área, medição de distâncias),
- Classificação/Reclassificação,
- Operações escalares (neste trabalho designadas como Álgebra de Mapas),
- Sobreposição (dois temas sobrepõem-se para dar um terceiro, por exemplo, uma entidade área corta uma entidade *raster*),
- Conectividade (áreas tampão (*buffer*), em função de uma distância ou atributo, associando o conceito proximidade e difusão),
- Operações de vizinhança (interpolação espacial em que se determinam valores para células sem valores com base nos valores de células próximas; os

interpoladores mais frequentemente usados são o IDW (*Inverse Distance Weighting* ou Ponderação do Inverso da Distância) e o *Kriging* (Krigagem),

- Modelação espacial.

Os Modelos Digitais de Terreno (MDT) constituem um conceito recorrente em sistemas de informação geográfica e são *input* para muitos processamentos de análise espacial. Um método frequente de modelação do terreno é a geração de Redes Irregulares Trianguladas (RIT) ou TIN que podem derivar para Modelos Digitais de Elevação (MDE) ou *Digital Elevation Model* (DEM). Os TIN apresentam algumas vantagens (NERY, 2009), relevantes para o presente projeto: é um método exato que respeita os dados dos pontos, preservando a informação original. Os modelos DEM têm ainda a vantagem de constituírem modelos de dados simples para os quais os *software* SIG, nomeadamente o ArcGIS da ESRI, já têm algoritmos de análise espacial.

Relativamente a modelos de terreno, foi encontrada na bibliografia consultada, uma diversidade terminológica correspondente a conceitos diferenciados. No caso vertente, questionou-se a adequabilidade de várias terminologias: modelos digitais de terreno, modelos digitais de elevação, modelos digitais batimétricos, modelos digitais de elevação negativa. É referido em ARCGIS, 2014, o MDT altimétrico como incluindo as estruturas construídas à superfície do terreno, contrariamente ao DEM (que só contém o terreno) mas, reflectindo um pouco, para zonas imersas, imagina-se como poucas ou nenhuma as construções no fundo de corpos de água, pelo que aí, considero que um MDT poderá ser igual a um DEM. Assim, optou-se pela sigla MDT (modelo digital de terreno), expressão de sentido mais lato e que designa, no presente projeto, a superfície matricial batimétrica da zona de estudo.

Quanto à álgebra de mapas, como já se referiu, podem aplicar-se cálculos (de natureza matemática, trigonométrica, condicional, etc.) a diversos temas e/ou variáveis, para obter um *raster* que corresponde ao resultado da álgebra aplicada, como por exemplo: [dados raster de entrada -> expressão (valores e operadores) -> dados raster de saída]. É possível definir o sistema de coordenadas, a área de processamento, a resolução e tolerância a usar em XX e YY, definir o tamanho final do *pixel*, entre outros parâmetros. No ARCGIS utiliza-se a ferramenta *raster calculator*, que constrói e executa uma expressão de álgebra de mapas usando uma interface de calculadora.

2.3 MORFODINÂMICA DA FOZ E OUTROS CONCEITOS

Os rios constituem elementos de modelação do relevo terrestre e são importantes agentes de transporte de materiais sedimentares, em geral, dos locais mais elevados do continente para o mar (locais mais baixos), podendo esse encontro, do rio com o mar, assumir formas diferentes, sendo no caso vertente, um estuário. Segundo ALVES GASPARG, 2008, um estuário é a parte terminal de um rio, onde este normalmente se alarga em direcção ao mar e o efeito das marés se faz sentir através das correntes e das alterações cíclicas do nível das águas e da salinidade.

Por vezes, os termos Foz e Barra são usados como sinónimos, mas têm origens e significados diferenciados, consoante a temática onde os vocábulos são aplicados. Ainda em ALVES GASPAS, 2008, a Foz é definida como a zona terminal de um curso de água situada no mar, num lago, ou noutro curso de água enquanto que a Barra, é a zona de deposição de sedimentos, de origem marinha ou fluvial, que ocorre junto à foz de um rio ou à entrada de uma baía. Em CHERQUES, 1999, a designação Barra também indica a entrada estreita num porto ou baía. No presente trabalho, foi escolhida a terminologia Foz, para designar a área de estudo.

O esquema da Figura 1 ilustra as acumulações sedimentares que tipicamente ocorrem numa foz de rio que se comporta como delta de vazante (CARVALHO, 2013). É possível estabelecer nesta figura, um paralelismo com os principais elementos morfológicos da Foz do Rio Tejo.

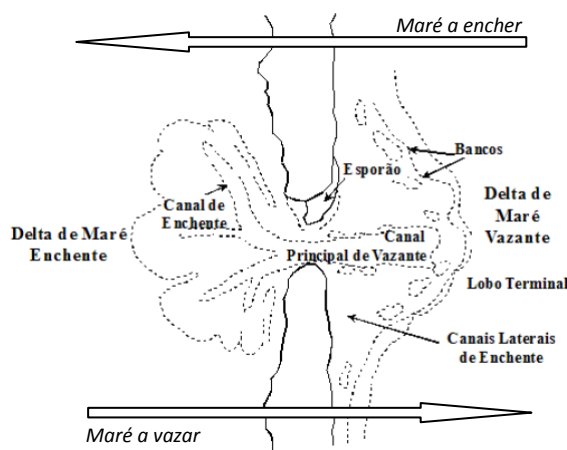


Figura 1 – Acumulações sedimentares típicas de uma embocadura de maré mesotidal (adaptado de [DAVIS (1994), modificado por BARROSO (2009) in CARVALHO, 2013]).

É relevante o estudo da batimetria (geometria do fundo de um corpo de água) da foz dos rios como um dos elementos determinantes da sua navegabilidade. O termo profundidade, designa a distância vertical entre a superfície da água e o fundo. A primeira expressa-se por isobatimétricas e/ou sequências de cores – que indicam maior ou menor profundidade – em mapas topográficos ou em cartas náuticas. Nestas últimas, a variação das tonalidades é contrária aos primeiros, pois apresenta o tom mais escuro para as zonas menos profundas, de forma a avisar os navegantes que utilizam as cartas náuticas, da aproximação de terra. Esta consideração estende-se aos valores armazenados nos ficheiros. Na batimetria (ao contrário da altimetria) os valores são positivos e passam a negativos quando se passa de água para terra (acima do zero) (ALVES GASPAS, 2008).

Em oposição aos mapas topográficos (que apresentam a topografia da superfície terrestre com o detalhe permitido pela escala) existem os mapas temáticos (que pretendem apresentar, para um determinado tema, as suas informações geográficas). Exemplos destes são mapas do foro ambiental, político ou administrativo, bem como as cartas históricas – que apresentam informação de tempos anteriores à sua publicação. Apesar desta

classificação, no presente trabalho é utilizada a designação de mapa histórico como sinónimo de mapa antigo (independentemente da data de recolha dos dados pois é desconhecida nos mapas aqui utilizados). As cartas náuticas (que apresentam sobre um fundo topográfico e hidrográfico, informações relevantes para a navegação) não fazem parte da cartografia temática e sim da cartografia base, segundo convencionado no nosso país (dado que desempenham o papel de cartas hidrográficas) (ALVES GASPAS, 2008). Neste trabalho, usou-se a designação Mapa para todos os documentos cartográficos utilizados.

Desde o início da navegação que se sentiu a necessidade de assinalar terra e evitar os perigos da sua proximidade. Assim, a luz foi usada desde há muito como sinalização da navegação, evoluindo de fogueiras em pontos elevados (por vezes, conventos), para lamparinas e por fim candeeiros. Em Portugal, no século XVI surgem os primeiros aparelhos óticos, no século XVIII associam o característico movimento rotativo, no século XIX começam a ser elétricos e no século XX passam a ser autónomos) (SIPA, 2011).

Na área de estudo, existem 2 estruturas artificiais antigas e importantes para a barra de Lisboa: os Faróis de S. Julião da Barra e do Bugio. Em SIPA, 2011, são ambos classificados como: faróis portuários ativos, anteriores a 1800, instalados em Fortes e cujo alcance luminoso é superior a 15 milhas náuticas. O Farol do Bugio iniciou a construção em 1693 e foi estabelecido em 1775 (cuja torre se mantém atualmente). No entanto, existiu desde 1578, o Forte de São Lourenço da Cabeça Seca, com uma estrutura de madeira com luz, que orientava a entrada dos barcos na barra, assinalando os baixios por um lado e, por outro, garantindo a entradas das naus vindas da Índia pelo Canal Sul. Daí deriva o termo Bugio, uma adaptação do termo francês *bougie* com que designavam a estrutura pois, vista ao longe do mar, assemelhava-se a uma vela acesa no meio do negrume das águas do rio. O Farol de S. Julião da Barra teve uma primeira instalação em 1553, que funcionou até 1761, ano em que se iniciou a construção da nova torre (que se mantém atualmente).

A alargada consulta bibliográfica efetuada permitiu ainda mais profundo conhecimento da problemática envolvida, tanto nas questões da morfodinâmica da zona como nas questões de processamento e análise SIG. São de destacar as seguintes, pela informação e enquadramento transmitidos.

ALEGRIA & DIAS, 2000 – Enquadramento histórico das várias escolas de cartografia náutica europeia (cartografia espanhola no sec. XVI, cartografia holandesa no sec. XVII, cartografia francesa no sec. XVIII, cartografia portuguesa no sec. XIX) e a contribuição portuguesa.

ALVES GASPAS, 2010 – Metodologia de análise (incluindo georreferenciação) de cartas náuticas do século XV e início do século XVI.

BALDAQUE DA SILVA, 1893 – Fatores que contribuíram para a alteração do regime do Rio Tejo na zona da Foz e coleção de mapas antigos.

CARVALHO, 2013 – Características da Foz do Rio Tejo e evolução dos seus bancos de areia.

DIAS *et al.*, 2000 – Confronto de mapas antigos (análise de um mapa do séc. XVIII) e método de regressão bidimensional.

GUERREIRO & GODINHO, 2005 – Métodos e técnicas utilizadas na cartografia náutica e hidrografia do fim do século XIX ao XX.

JAMES *et al.*, 2012 – A dimensão temporal na análise espacial de modelos digitais de terreno de mapas antigos e a produção de DEM de diferenças para determinar mudanças no relevo.

TABORDA & ANDRADE, 2014 – Perspetiva evolutiva 1500-1950 do estuário exterior do Tejo.

3. DADOS E MÉTODOS

3.1 DADOS





Foi analisada a totalidade das 57 fotocópias em tamanho A4, entre outros, que constituem o espólio de mapas antigos em fotocópia disponíveis no Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.












A seleção dos mapas a processar foi feita visualmente segundo os seguintes critérios:

- Incidirem sobre a área de estudo,
- Pertencerem ao intervalo temporal escolhido,
- Possuírem uma boa legibilidade/qualidade da fotocópia,
- Relevância da informação contida.

Sempre que possível, fez-se a leitura dos documentos escritos que acompanham e/ou explicam os diversos mapas, nomeadamente, notícias explicativas, nas instituições detentoras dos originais.

Do total de peças disponíveis, foram seleccionados 32 mapas do século XVI ao século XIX, essencialmente cartografia náutica da zona da foz do rio Tejo e áreas circundantes. O Anexo A contém informação mais detalhada sobre as fontes de todos os mapas incluídos neste projeto. Destes, 20 mapas contêm informação batimétrica pelo que foram considerados adequados para prosseguirem para a produção de MDT (Tabela 1).

Data (ID)	Nome Ficheiro Digitalizado	Fonte (Autor/Editor)	Imagem
1583	1583_32_charte maritime.tif	APL (Administração Porto de Lisboa) (in FERREIRA LEMOS, 197?)	
1642	1642_regimento de pilotos.tif	BNP /APL (Biblioteca Nacional de Portugal) (Administração Porto de Lisboa) (CARNEIRO in BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
1650	1650_carta particolare del oceano.tif	BNP /APL (in BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
1673 (xvii3)	1673_20_pratica da arte de navegar.tif	BNP (PIMENTEL, 1673)	

1680	1680_23_pafkaart van de kuft van portugal.tif	BNP /APL (KEULEN <i>in</i> BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
séc. XVIII *	17--_7_a bacia dos rios tejo e sado numa gravura francesa do sec 18.tif	BCM (Biblioteca Central da Marinha) (<i>in</i> GALVÃO, 1971)	
1700 (xviii1)	1700_19_una nueva carta maritima de las costas de portugal.tif	BNP (KEULEN, 1700)	
1707 (xviii2)	1707_les ports de lisbonne setuval et leurs environ.tif	BNP /APL (INSELIN <i>in</i> BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
1720	1720_109 - les cotes de portugal et barbarie.tif	BNP /APL (MICHELOT & BREMOND <i>in</i> BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
1756	1756_Petit atlas maritime.tif	BNP /APL (BELIN <i>in</i> BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
1764	1764_112 - a new and correct chart of the coast of Portugal.tif	BNP /APL (MEFSINA <i>in</i> BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
1765	1765_28_mapa da barra de lisboa e do seu rio tejo.tif	BNP /APL (BURGIS <i>in</i> BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
1779	1779_29_a chart of the coast of spain and portugal wit the balearic islands.tif	BNP /APL (ROCHETT <i>in</i> BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
1788	1788_carta esferica.tif	BNP /APL (TOFIÑO <i>in</i> BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
séc. XIX *	18--_18_mapa geografico do reino de portugal.tif	BNP /APL (GIRALDES, séc. XIX)	





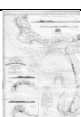



1810	1810b_the kingdoms of portugal and algarve.tif	BNP /APL (LODGE in BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
1811	1811_35_roteiro das costas de portugal.tif	BNP (FRANZINI, 1811)	
1820	1826b_statistica historico geographica do reino de portugal.tif	BNP /APL (GIRALDES in BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
1857	1857_barra do porto de lisboa_cc-996- r_0001_1_t24-C-R0150.tif	BNP (SILVA <i>et al.</i> , 1857)	
1882	1882_plano hidrographico desde cabo da roca ate cezimbra_1.tif	ABMOPTC (Arquivo e Biblioteca do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações) (SILVA <i>et al.</i> , 1882)	

Tabela 1 – Mapas seleccionados para a fase MDT.

Aos mapas assinalados com * na Tabela 1, não foi possível atribuir uma data específica. No caso do mapa do século XVIII, é expressa em GALVÃO, 1971, a dúvida sobre a exatidão da respetiva data – pode ser do início da Guerra dos Sete Anos (1756-1763) ou da II invasão Francesa a Portugal (1810-1811). Os restantes 12 mapas, listados na Tabela 2, foram excluídos da produção MDT por ausência de informação batimétrica ou de pontos de controle fiáveis, todavia, continham interessantes representações de elementos morfológicos da foz do rio, tendo integrado o grupo da análise semiquantitativa (onde se vieram a incluir posteriormente os mapas do grupo MDT).

Data (ID)	Nome Ficheiro Digitalizado	Fonte (Autor/Editor)	Imagem
1560	1560_32_portugalliae que olim lusitania novissima e exactissima descriptio.tif	BNP /APL (Biblioteca Nacional de Portugal) (Administração Porto de Lisboa) (SECCO in BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
1608 (xviiia)	1608_1_colecao de mapas e plantas de cidades.tif	AHM (Arquivo Histórico Militar) (in AHM, 1608)	
1608 (xviiib)	1608_2_colecao de mapas e plantas de cidades.tif	AHM (in AHM, 1608)	







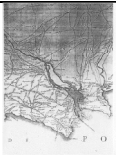


1654	1654_22_partte meridional do reyno de portugal.tif	BNP /APL (SANSON <i>in</i> BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
1673 (xviid)	1673_45_foral de almada.tif	CMA (Câmara Municipal de Almada) (<i>in</i> FLORES, 1992)	
1700 (xviii)	1700_21_nieuwe pafcaert van portugal.tif	BNP (ROBYN, 1700)	
1704	1704_26_le portugal et ses frontieres.tif	BNP /APL (BAILLIEN <i>in</i> BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
1707 (xviii)	1707_27_le portugal dedie au roy.tif	BNP /APL (AUGUSTIN <i>in</i> BALDAQUE DA SILVA, 1893)	
1745	17--_40_almada antiga e moderna.tif	CMA (Câmara Municipal de Almada) (FER <i>in</i> FLORES, 1987)	
1808	1808_15_carta militar das principais estradas de portugal.tif	BNP (ALMEIDA, 1808)	
1821	17--_43_almada antiga e moderna.tif	CMA (LAMOTTE <i>in</i> FLORES, 1987)	
1842	1842_mapa vizinhancas lisboa cc-1070-r_1_t24-C- R0150.tif	BNP (PATRÍCIO, 1842)	

Tabela 2 – Mapas seleccionados para a fase análise semiquantitativa.

Para concretizar a metodologia proposta no presente projeto, nomeadamente, as operações de georreoreferenciação, foi necessário recorrer a outras bases cartográficas que se identificam na Tabela 3.

Designação	Fonte
Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP). 2014.	DGT (Direção Geral do Território)

Carta Geológica, Folha Sul, 1:500.00.	SGP, 1992 (Serviços Geológicos de Portugal)
Carta de Portugal Continental – Atlas de Portugal, 1:500.000.	IGP, 2005 (Instituto Geográfico Português)
Carta Série Recreio (25R07) Cabo da Roca ao Cabo Espichel, 1:150.000.	IH, 2006 (Instituto Hidrográfico)
Carta Militar de Portugal, 1:25.000. Folhas nº 374, 388, 402, 416, 430, 431, 441B, 442, 453, 454, 455, 464, 465 e 466.	CIGeoE (Centro de informação Geoespacial do Exército)
Coordenadas de localização de faróis.	IH, 2015
Coordenadas de localização de monumentos.	IHRU, 2014 (Instituto da Habitação e Reabilitação Urbana)
Modelo Batimétrico da Caparica.	IH, 2009
Modelo Batimétrico do Tejo.	IH, 2011

TABELA 3 – Outras fontes de dados utilizadas.

3.2 MÉTODOS

Recorreu-se a fotocópias de mapas antigos da foz do rio Tejo contendo informação batimétrica, para gerar sempre, que possível, modelos digitais de terreno (MDT) do fundo do rio, de cada período temporal. Estes são comparados com a Situação de Referência (ST) do século XX (através de análises espaciais SIG), registando ou não, alterações da profundidade, que permitissem inferir alterações morfológicas ao longo dos séculos em estudo. Avalia-se ainda a produção de perfis, a partir dos Modelos Digitais de Terreno (MDT), que possibilitam a análise comparativa de fundos em datas diferentes. Foi ainda realizada uma breve análise semiquantitativa de todos os mapas. A Figura 2 apresenta o fluxograma das tarefas realizadas e o modelo de dados escolhido. Todo o processamento SIG foi realizado em *software* ArcGis 10.2 (com recurso ao formato *geodatabase*) no sistema de coordenadas planimétrico ETRS 1989 Portugal TM06 e com unidades de trabalho em metros.

Foi realizado um teste piloto inicial, com 5 mapas de diferentes séculos, cujos resultados, preliminares, foram decisivos para a definição da metodologia e dos parâmetros do presente trabalho (Anexo D).

INFORMAÇÃO BASE

CONVERSÃO ANALÓGICO-DIGITAL

ANÁLISE ESPACIAL

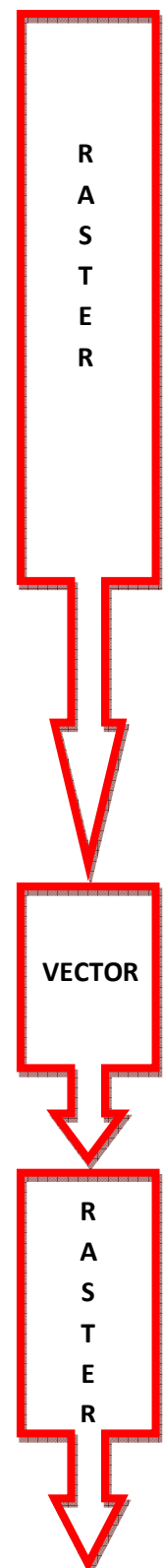


Figura 2 – Fluxograma dos métodos aplicados e evolução do modelo de dados digital.

3.2.1 Área de Estudo

A área objeto de estudo neste projeto situa-se na foz do rio Tejo (no Oceano Atlântico, próximo de Lisboa) em Portugal. Este rio é o mais extenso da Península Ibérica (com aprox. 1.000 km de comprimento), abarcando uma alargada bacia hidrográfica. Este importante rio comporta na sua embocadura, um estuário atlântico, de grande dimensão e de geomorfologia e ecologia complexas onde se regista uma importante atividade antrópica (IA, 2001 e ICN, 2004 *in* CARVALHO, 2013). Na zona estuarina podem definir-se vários domínios, designando-se a Foz do Rio Tejo como zona exterior do estuário (TABORDA & ANDRADE, 2014).

Foi a evolução geológica do Atlântico Norte e da Península Ibérica que contribuiu para a característica morfologia desta embocadura (Figura 3): um alargado mar interior (“Mar da Palha”) que drena, para o oceano, por um estreito canal lateral (“Gargalo do Tejo”). Pode, muito resumidamente, dizer-se que o levantamento continental (há aprox. 2,5 Milhões de Anos (Ma)) induziu, por captura de linha de água ou aproveitando uma fractura/falha E-W, uma mudança do curso do rio Tejo da Península de Setúbal para o referido “Gargalo” (MONIZ & CABRAL *in* PAIS *et al.*, 2006). O perfil de Portugal Continental que surge na Figura 3 (e que se repete parcialmente como enquadramento noutras figuras) é obtido da Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP), 2014 e a imagem de satélite que retrata a Foz do Rio Tejo e área envolvente, é retirada da aplicação *Google Earth*, 2013.

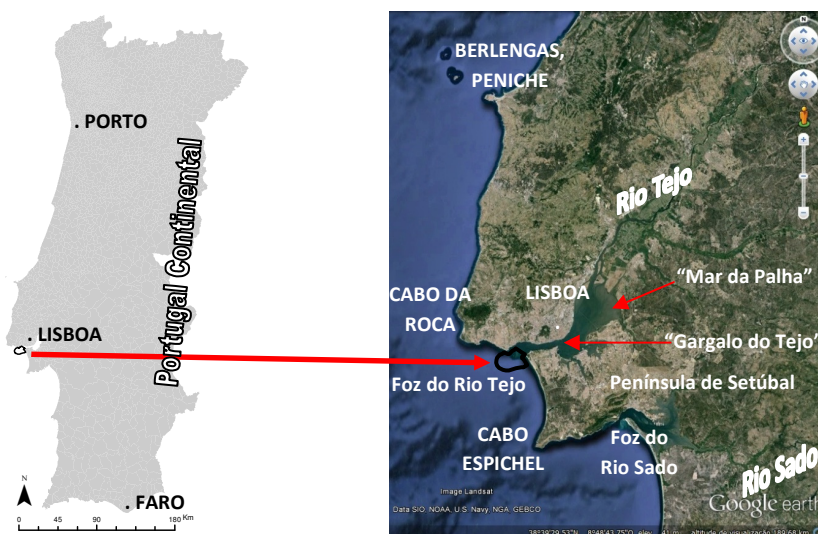
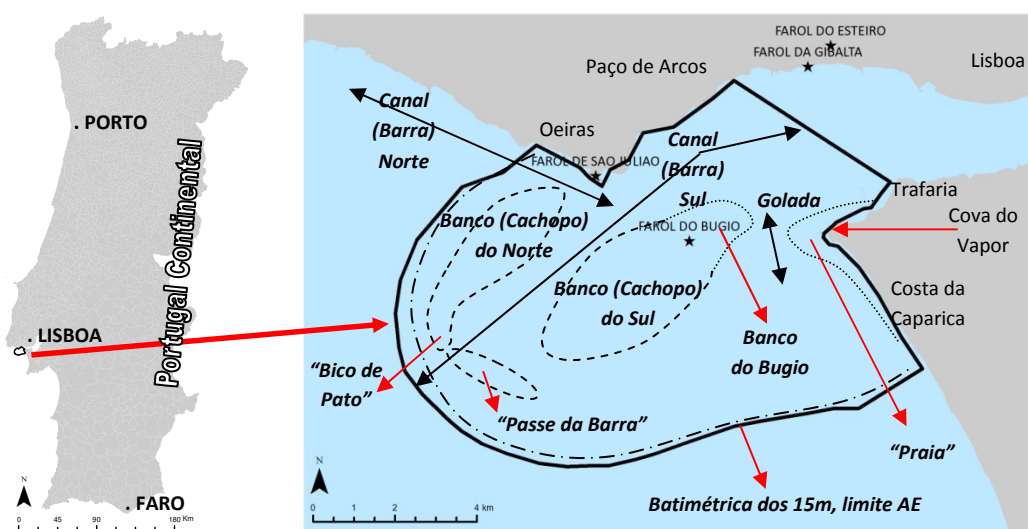


Figura 3 – A área de estudo (AE) (delimitada a preto), a foz dos rios Tejo e Sado e a área envolvente (CAOP, 2014) (imagem Landsat no *Google Earth*, 2013).

A relevante presença de sedimentos comprova a importância da rede fluvial do Tejo no transporte de materiais em épocas passadas (como exemplo, a Sul do “Mar da Palha”) (MONIZ & CABRAL *in* PAIS *et al.*, 2006). Em épocas recentes, a contribuição sedimentar do rio para zona exterior do estuário é negligenciável considerando-se que os sedimentos encontrados na foz têm origem em estruturas locais (marinha e terrestre) (TABORDA & ANDRADE, 2014). Fatores como as marés, as correntes, os ventos, as características dos

Atendendo ao objetivo e enquadramento do projeto, considerou-se adequado definir de forma mais específica a área de estudo e assim, com recurso ao Modelo Batimétrico do Rio Tejo (IH, 2011), foi delimitada uma região que abrange as principais estruturas morfológicas existentes nesta foz. A zona em questão (linha contínua preta, na Figura 4), tem uma área aproximada de 80 km² e é delimitada, aproximadamente, pela linha batimétrica dos 15 metros no domínio marítimo oceânico (a Oeste e a Sul), pela linha batimétrica dos 0 metros no domínio terrestre (a Este e a Norte) e por uma linha arbitrária entre as localidades da Trafaria e de Paço de Arcos, no domínio marítimo fluvial (a Nordeste).



Na Figura 4 são ainda representados de forma esquemática, os principais elementos morfológicos da foz do rio Tejo (TABORDA & ANDRADE, 2014):

- 19

- CANAL NORTE – Canal Secundário de navegação com orientação ESE-WNW (designado como Barra Norte).
- BANCO SUL – Um Banco marginal arenoso (designado como Cachopo do Sul) a Sueste do Canal Principal, geralmente mais largo e extenso que o Cachopo do Norte, incluindo na maior parte das representações, zonas emersas (Cabeças Secas) das quais a mais relevante e persistente corresponde ao Banco do Bugio.
- CANAL DA GOLADA – Um Canal secundário (designado como Golada), que separa o Banco Sul da Praia; a Golada é um elemento presente em todas as representações cartográficas, nalgumas indicada como navegável, mas com posição, largura e profundidade do talvegue muito variáveis.
- PRAIA – esta designação designa, no presente trabalho, toda a estrutura arenosa que se encontra junto à costa (submersa e/ou emersa) e que se inicia aproximadamente na Trafaria, se alarga na zona da Cova do Vapor e se estende para sul da Costa da Caparica).

Para efeitos de clarificação da terminologia da zona em estudo no presente trabalho, designam-se as principais zonas de circulação marítima como Canais (correspondendo às Barras Norte, Sul e Canal da Golada) e as principais zonas de deposição de materiais como Bancos (correspondendo aos Cachopo Norte e Cachopo Sul – cuja parte Norte inclui o Farol do Bugio).

As Figuras 5, 6, 7 e 8 apresentam imagens retiradas de alguns dos estudos sobre a evolução de elementos morfológicos da Foz do Rio Tejo.

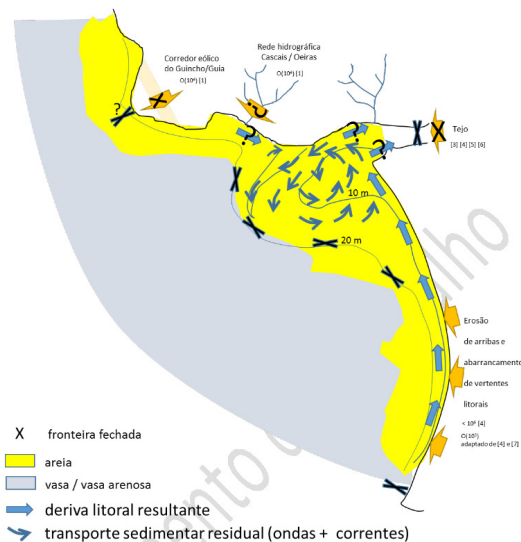


Figura 5 – Modelo de circulação sedimentar do estuário exterior do Tejo e região adjacente (TABORDA & ANDRADE, 2014).

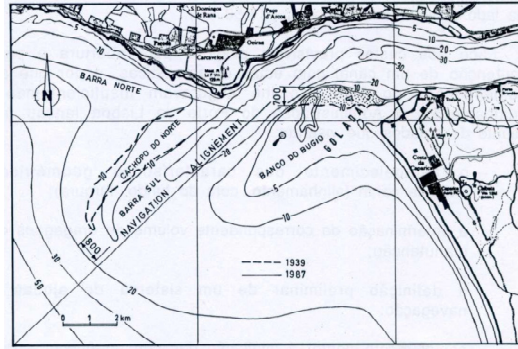


Figura 6 – The Entrance of the Tagus Estuary (MOTA-OLIVEIRA, 1992).

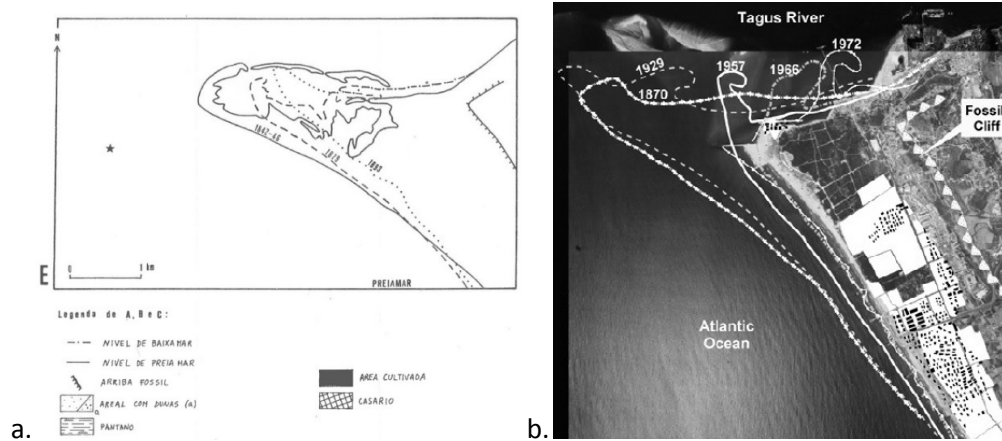


Figura 7 – Evolução da restinga da Cova do Vapor e linha de costa (a.) no séc. XIX (FREIRE, 1989) (b.) no séc. XX (VELOSO GOMES *et al.*, 2009).

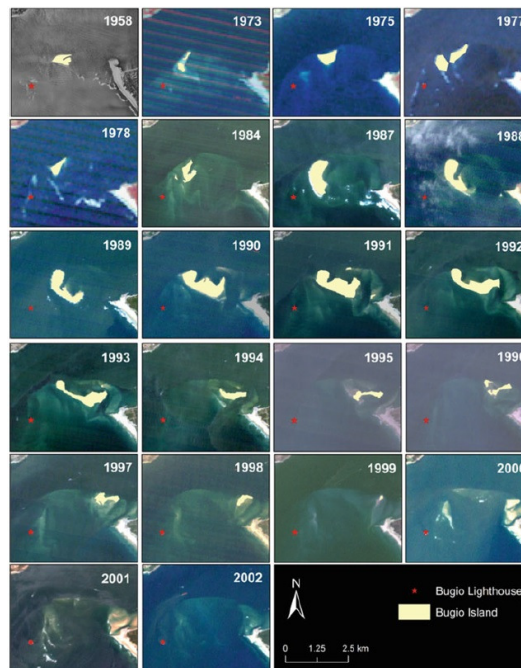


Figura 8 – Evolução da ilha do Bugio na 2ª metade do século XX, sobre imagens *LandSat* (LIRA & TABORDA, 2014).

3.2.2 Situação de Referência

A adequada comparação de profundidades entre mapas de diversas datas exige uma Situação de Referência (ST) conhecida, que serve de baliza às análises a efetuar. No caso vertente e considerando que as datas dos mapas em análise variam entre o século XVI e o XIX, entendeu-se adequado que a situação de referência correspondesse à do século XX (onde estão padronizados e conhecidos os procedimentos para aquisição de dados batimétricos e as técnicas utilizadas são mais exatas e precisas do que as dos séculos passados). Para tal, foi necessário obter uma superfície batimétrica recente que retratasse o fundo do estuário na zona em estudo.

Entre vários repositórios de informação batimétrica a nível mundial destacam-se o GEBCO, 2014 e o EMODnet, 2012. A *General Bathymetric Chart of the Ocean* (GEBCO), uma organização sem fins lucrativos que, com o apoio de especialistas voluntários, trabalha para desenvolver diversos conjuntos de dados batimétricos em todo o mundo, sob os auspícios da Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI) da UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura) e da Organização Hidrográfica Internacional (OHI). Relativamente à área de estudo do projeto, é disponibilizada uma grelha de 2014 com espaçamento aproximado de 900 metros. O portal de batimetria da *European Marine Observation and Data Network* (EMODnet) (uma parceria entre instituições patrocinada pela Comissão Europeia que conta com consultores de diversas áreas), fornece cobertura MDT de 2015 para a plataforma continental ibérica numa grelha de espaçamento aproximado de 225 m.

A nível nacional, o Instituto Hidrográfico (IH) Português – cuja missão inclui atividades relacionadas com as ciências e técnicas do mar – disponibiliza eletronicamente e gratuitamente, um modelo batimétrico da zona de estudo (Modelo Batimétrico do rio Tejo) e da necessária zona vizinha (Modelo Batimétrico da Costa da Caparica) (Figura 9), sob a forma de uma grelha de pontos com espaçamento de 100 m. Considerando os metadados correspondentes (nomeadamente, a resolução, técnicas de recolha de dados e datas de actualização dos mesmos), considerou-se que os modelos batimétricos referidos, disponibilizados pela entidade nacional eram de maior fiabilidade para serem utilizados como referência neste estudo, tendo estes sido os selecionados.

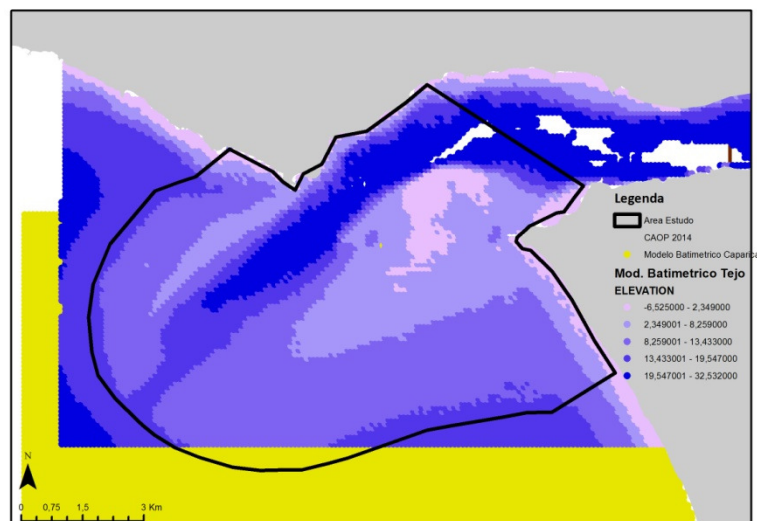


Figura 9 – Modelos Batimétricos do Tejo (IH, 2011) e da Caparica (IH, 2009) na Área de Estudo.

A Figura 10 apresenta o modelo que traduz a sequência de operações aplicadas à malha de pontos para a sua conversão num MDT *raster*. Foi produzida a rede de triângulos irregulares (TIN) usando o campo do valor de profundidade (*elevation*) como contendo os valores de profundidade e entrando os pontos como *mass points*. Posteriormente, esta rede foi convertida num *raster* (por método de amostragem dos vizinhos naturais e com *pixel* de 100 m). Obteve-se assim o MDT considerado, para efeitos do presente estudo, como um “retrato” batimétrico da Foz do Rio Tejo no século XX.

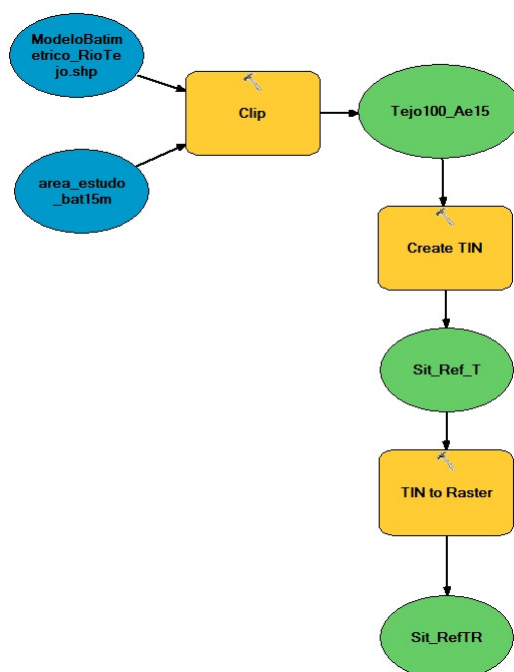


Figura 10 – Fluxograma (Model Builder) da geração do raster batimétrico na situação de referência (séc. XX).

3.2.3 Digitalização

De forma a poder aplicar uma análise espacial à cartografia seleccionada, foi necessário converter os suportes analógicos existentes nas suas versões digitais através de digitalização em *scanner* dos documentos obtidos. Esta foi realizada, na íntegra, para todos os documentos de tamanho menor ou igual a A4 e, para os de dimensão maior, apenas abrangendo a área de interesse mas em nenhum dos casos, prejudicando a visualização dos potenciais pontos de controle.

As características escolhidas para a digitalização foram:

- Formato TIFF (*Tagged Image File Format*),
- Tons de cinzento,
- Resolução horizontal e vertical = 600 ppp (Pontos Por Polegada),

O formato TIFF é um dos mais adequados às operações de processamento de imagem e análise espacial previstas. A escolha por uma elevada resolução da imagem (que penaliza o tamanho dos ficheiros a tratar), pretende não perder a definição original dos mapas, já de si, pobre, a fim de potenciar a visualização da informação nas operações de ampliação.

3.2.4 Georreferenciação

Como já foi referido, a operação de georreferenciação depende da qualidade do mapa e da qualidade do conjunto de pontos de controle selecionados.

Dada a pouca fiabilidade de muitas representações dos elementos naturais (como a linha de costa, por exemplo) e a pobreza de elementos referenciadores do terreno nos mapas obtidos, foi entendido que a seleção de pontos de controle teria de recorrer à posição de elementos artificiais que tivessem, indubitavelmente, uma continuidade posicional ao longo dos séculos. Consideraram-se que as estruturas de carácter militar/defesa (faróis, fortes, castelos) ou religioso (mosteiros, conventos) cumpriam este requisito. Os faróis e monumentos principais que persistem na atualidade foram, por norma, facilmente identificáveis nos mapas antigos e mantêm uma posição geográfica estável (contrariamente a estruturas móveis como bancos sedimentares da foz ou os limites das localidades que podemos reconhecer nos ditos mapas).

Assim, a base vectorial principal de apoio à operação de georreferenciação (Figura 11), foi criada especialmente para o efeito com 28 elementos pontuais – 13 faróis e 15 monumentos históricos, construídos desde o século XV à atualidade – a partir das respetivas coordenadas geográficas (obtidas das entidades oficiais) e posteriormente convertidas para o sistema de coordenadas do projeto. As coordenadas originais dos monumentos têm uma resolução de 1 m e as dos faróis de 10 m. Para uma mais abrangente operação de georreferenciação, esta base vectorial estende-se de Peniche a Setúbal. O Anexo C lista as coordenadas destes elementos.



Figura 11 – Base vectorial de pontos históricos (faróis e monumentos).

No entanto, em alguns dos mapas analisados, não existem representações de pontos notáveis na área de estudo em número suficiente para utilizar exclusivamente a base vectorial já referida (há apenas indicação do nome das principais localidades e de elementos geomorfológicos). Como tal, a seleção de pontos de controle utilizou uma técnica mista:

- A identificação de pontos históricos notáveis – recorrendo à base vectorial,
- Em simultâneo com a identificação de zonas da costa semelhantes e do centro de localidades que se assumem como sendo as mesmas atualmente – recorrendo às várias cartas topográficas que constituem a informação base deste projeto e onde se localizaram alguns destes pares de pontos.

A quantidade de pontos de controle é também condicionante da qualidade da georreferenciação. No entanto, há uma quantidade (variável para cada caso e que não foi identificada no presente estudo) acima da qual a utilização de pontos extra não melhora o erro da operação. No caso vertente, os mapas, pela sua qualidade intrínseca, não possuem informação necessária para a criação de muitos pontos de controle.

Ultrapassada a questão dos pontos de controle, era necessário definir o tipo de transformação a aplicar em sede de criação das novas imagens georreferenciadas. O objectivo final deste trabalho é determinante para a escolha do algoritmo, de um leque de 7 possíveis, a aplicar em cada operação, dado que não são adequadas transformações que deformem a imagem no sentido de alterarem a relação dos elementos nela constantes. Portanto, os mapas antigos poderiam ser rodados, escalados e transladados, mas não torcidos ou dobrados, o que aponta para transformações polinomiais de baixa ordem.

A fim de perceber o efeito dos algoritmos nos mapas a georreferenciar, foram realizados pequenos testes práticos a vários mapas de forma a verificar o ajuste do mapa corrigido consoante o conjunto de pontos utilizados e os algoritmos aplicados. A concretização de um teste final global sobre o mapa de 1680 permite a tomada de decisão sobre o algoritmo para as operações de georreferenciação. A escolha deste mapa, apesar de prosaica, releva bastante do dilema recorrente: como melhorar o ajuste do mapa original ao mapa de controlo quando logo com o conjunto inicial de 5 pontos de controle se regista um erro de ordem de grandeza quilométrica? Os resultados teste de acréscimo de pontos de controle (ao grupo inicial de 5) e a alteração do Erro Médio Quadrático (EMQ), consoante cada algoritmo, para o mapa 1680, estão registados na Tabela 4.

Mapa de 1680 (Figura 12, 1.)	Nº de Pontos de controle		
	5	11	17 (Figura 12, 2.)
Algoritmo			
transformação polinomial ordem zero	38.095,4	34.062,6	38.331,8 (Figura 12, 3.)
transformação polinomial 1ª ordem	3.068,37	5.158,01	6.045,39 (Figura 12, 4.)
transformação polinomial 2ª ordem	-	2.200,79	3.916,87 (Figura 12, 5.)
transformação polinomial 3ª ordem	-	720,073	1.685,67 (Figura 12, 6.)
transformação <i>adjust</i>	958,146	506,777	1.710,18 (Figura 12, 7.)
transformação <i>spline</i>	-	0	0 (Figura 12, 8.)
transformação projectiva	1.879,88	3.545,33	4.608,19 (Figura 12, 9.)

Tabela 4 – EMQ para nº de pontos de controle/tipo de algoritmo na georreferenciação do mapa de 1680.

A Figura 12 ilustra, de forma bastante evidente, as consequências de transformação do mapa de 1680 (KEULEN *in* BALDAQUE DA SILVA, 1893) consoante os diferentes algoritmos aplicados ao mesmo conjunto de 17 pontos da Tabela referida (a escala de visualização é 1:1.600.000). Ao mapa antigo foi aplicada uma transparência de 25% para ser perceptível a AE e o contorno de Portugal Continental, em cor verde (CAOP, 2014).



Após a realização dos testes, foram escolhidos os seguintes parâmetros para as operações de georreferenciação (com base no EMQ e na verificação visual dos ajustes/deformações locais):

- algoritmo de posicionamento = transformação polinomial de 1ª ordem (*affine*) pois foi a que apresentou menor deformação do mapa e melhor ajuste;
- nº mínimo de pontos de controle = 5 (quantidade mínima, encontrada em todos os mapas e suficiente, para manter a fiabilidade da operação de georreferenciação);
- procedeu-se à rectificação das imagens corrigidas para gerar novas imagens georreferenciadas (reamostradas com o algoritmo do vizinho mais próximo).

Para aferição da qualidade de georreferenciação final, foram seleccionadas algumas localizações, onde se realizou a medição da distância planar entre os pontos correspondentes – do mapa georreferenciado para a base de controle e cujos resultados são apresentados na Figura 23. Estes pontos de aferição da qualidade não existem todas em todos os mapas e, normalmente, integram o conjunto de pontos de controle:

- Farol da Guia,
- localidade de Cascais,
- Forte de São Julião da Barra,
- Farol do Bugio,
- Torre de Belém,
- Castelo de S. Jorge,
- localidade de Almada,
- castelo ou localidade de Sesimbra,
- Cabo Espichel.

Nesta fase do projecto, atinge-se uma etapa crucial para o trabalho que é a definição do *pixel* no modelo de dados *raster* que se irá utilizar e dos mapas que poderão prosseguir para a geração dos MDT. Pode considerar-se o *pixel* como a “escala” de trabalho e um dos parâmetros de funcionamento. Com o estabelecimento de uma situação de referência específica para este trabalho (ver Capítulo 3.2.1), entende-se que a comparação entre MDT deve utilizar *raster* com a mesma dimensão de *pixel* da ST referida. Foi, por isso, definido, um *pixel* de 100 m.

A escolha do EMQ como critério de validação de qualidade, justifica-se no presente trabalho pela imperiosa necessidade de uma fiável justaposição espacial de informação batimétrica temporal, dado que a metodologia assenta numa álgebra de mapas efetuada, verticalmente, *pixel* a *pixel*. Tendo por base este parâmetro, considera-se desadequado a utilização de mapas georreferenciados com erro médio quadrático superior à dimensão escolhida para *pixel*, dado que prejudica a posterior comparação posicional entre modelos digitais de terreno.

3.2.5 Vectorização

A aquisição vectorial da informação batimétrica constante nos mapas, realizou-se a partir do ecrã (*on-screen*) sobre o *raster*. Para este efeito, foram criadas nas geodatabases históricas, as entidades gráficas adequadas:

- curvas_bat – *features* do tipo *line* = representando as isolinhas de profundidade, adquiridas no centro da linha raster respetiva; com equidistância conforme os originais (Tabela 5).

<i>Objectid</i>	<i>Shape *</i>	<i>Shape Length</i>	Batimetria
(Automatic Number)	(Polyline Z)	(Double)	(Double)
Criado pelo <i>software</i>	Criado pelo <i>software</i>	Criado pelo <i>software</i>	Criado pelo utilizador. Contém os valores originais da batimetria constantes no mapa.

Tabela 5 – Campos da entidade linha (*feature line*) Curvas_data histórica criada.

- pontos_bat – *features* do tipo *point* = representando pontos batimétricos; os pontos foram adquiridos no centro dos números que surgem no mapa com a mesma precisão neles constantes (Tabela 6).

Objectid	Shape *	Batimetria	Tipo Fundo	Nome1	Bat_m
(Automatic Number)	(Point Z)	(Double) (Allow Null)	(Text 10) (Allow Null)	(Text 50) (Allow Null)	(Double) (Allow Null)
criado pelo <i>software</i>	criado pelo <i>software</i>	criado pelo utilizador	criado pelo utilizador	criado pelo utilizador	criado pelo utilizador
		Contém os valores originais da batimetria constantes no mapa	Contém a informação, quando existe, do tipo de fundo (areia, pedra, lodo, etc.)	Contém a informação, se existe, do nome/topónimo atribuído ao local (seja submerso seja emerso); vários nomes no mesmo local são guardados em campos seguintes NOME2 e NOME3	Contém os valores de batimetria convertidos em metros – resultado da operação <i>field calculator</i>

Tabela 6 – Campos da entidade ponto (*feature point*) Pontos_data histórica criada.

- Lim_arenosos – *features* do tipo *line* = representando os limites dos corpos sedimentares representados na foz, sem informação batimétrica (adquiridas no centro da linha raster respetiva) (Tabela 7); a designação “arenosa” não resulta de um classificação sedimentológica mas sim do reconhecimento de um padrão que é usualmente utilizado para identificar fundos de areia (FREIRE, 1989).

<i>Objectid</i>	<i>Shape *</i>	<i>Shape Length</i>	Nome
(Automatic Number)	(Polyline Z)	(Double)	(Text 50) (Allow Null)
criado pelo software	criado pelo software	criado pelo software	criado pelo utilizador
Contém a informação, se existe, do nome/topónimo atribuído ao local (seja submerso seja emerso).			

Tabela 7 – Campos da entidade linha (*feature line*) Lim_Arenosos_data histórica criada.

Para efeitos de simplificação, a linha de profundidade zero (que limita superiormente os MDT a gerar) foi adquirida pela linha de costa desenhada em cada mapa. Apenas no mapa de 1857 está expresso que os valores inscritos se referem ao nível médio das águas do mar. O objectivo de adquirir os limites arenosos constantes nos mapas, não é integrar o MDT (pois não têm informação de profundidade) mas sim permitir uma análise visual qualitativa posterior.

A Figura 13 ilustra dois exemplos desta vectorização para as *features* acima descritas. É importante realçar que, com excepção do mapa de 1857 (Figura 13. b.), todos os restantes poderiam contribuir com pontos e apenas com uma curva: a linha de costa, vectorizada à profundidade zero (tal como o mapa de 1765 da Figura 13. a.).

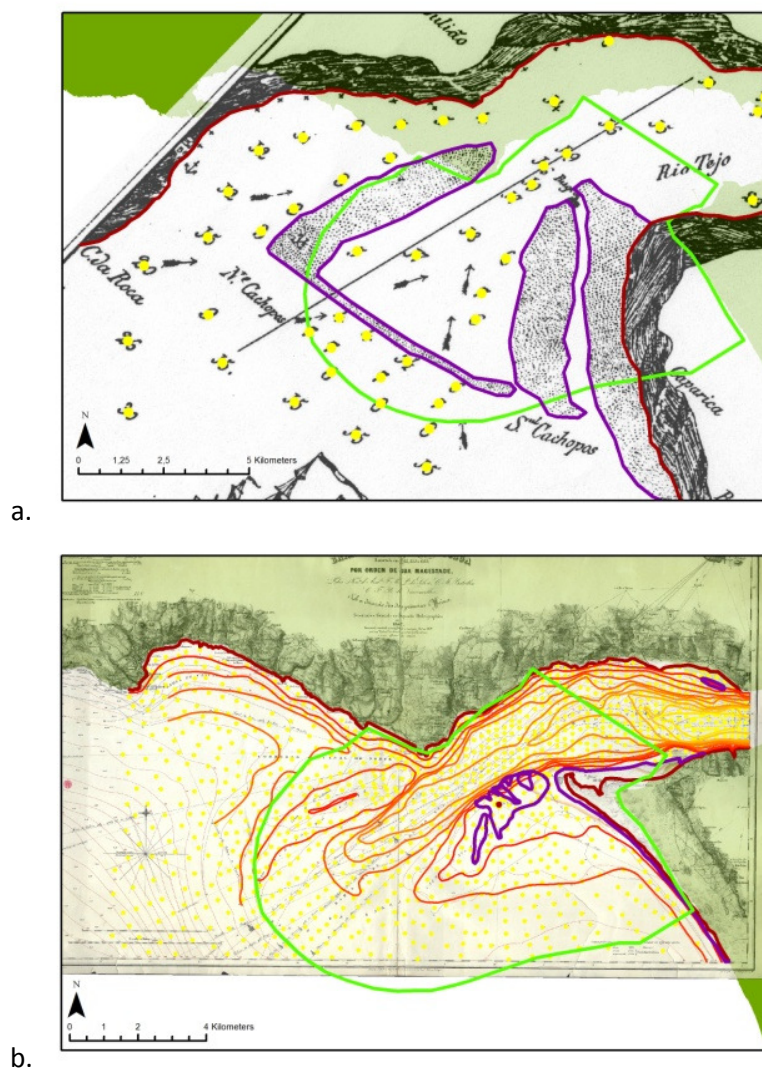


Figura 13 – Exemplo de elementos disponíveis para vectorização. (a.) mapa de 1765 (BURGIS *in* BALDAQUE DA SILVA, 1893). (b.) mapa de 1857 (SILVA *et al.*, 1857). (AE e CAOP, 2014, a cor verde).

Um exemplo de teste adicional que poderia ser realizado nesta metodologia é a localização geográfica do tipo de fundo – onde se encontram os sedimentos (fundo móvel) e onde se localiza a rocha (fundo não móvel). É interessante determinar o tipo de fundo do leito do rio na AE pois este é um dos factores que condiciona a profundidade do fundo e, consequentemente, a morfodinâmica da zona, podendo ainda funcionar como elemento de controle de qualidade dos *Raster* de Diferenças de Profundidade (RDP). Assume-se a existência de um fundo de rocha na Foz do Rio Tejo, que se mantêm inalterado ao longo de séculos. Nesta metodologia, o resultado expectável seria: fundo de rocha associa-se a fundo fixo e corresponderia a um RDP sem diferenças históricas significativas. A análise da carta geológica disponível (Tabela 3) relativamente à informação do tipo de fundo na AE, confirma a existência de “acumulações complexas de materiais” (presumem-se móveis) mas não têm detalhe adequado na área de estudo para o objectivo deste projeto. Não

tendo sido possível a receção dos dados de litologias/tipologias de fundo atuais por parte de entidades oficiais, este tipo de análise e controle de qualidade, não pôde ser realizado.

No entanto, efetivou-se um exercício relativo ao fundo rochoso, meramente indicativo, com base em informação antiga. O mapa de 1857 indica em cada ponto amostrado, para além da profundidade respetiva, o tipo de fundo encontrado. Foram identificadas 4 classes tipológicas: A = areia, C = cascalho, L = lodo, P = pedra. Numa consideração geológica, podem tratar as 3 classes A, C e L como cobertura sedimentar móvel e assume-se a classificação P como referindo fundo rochoso. Para obter áreas correspondentes ao fundo de rocha, decidiu-se pela vectorização manual com base nos pontos identificados como P. A área (*shape*) resultante tinha uma configuração angulosa e não contabilizava as áreas envolventes aos pontos, pelo que se aplicou uma operação de zonamento (*buffer*) com a distância de 100 m a partir dos pontos P e outra (igualmente com 100 m) a todos os outros pontos que não estavam classificados como P (a Figura 14 apresenta o fluxograma destas operações). Este valor resulta da análise visual aos pontos e a observação de distâncias maiores entre eles na maioria dos casos. Este zonamento serviu assim para definir as fronteiras da vectorização da nova área de rocha, que posteriormente, foi seccionada à área do estudo. Obteve-se portanto um elemento indicativo do fundo rochoso de 1857 na AE na foz do rio Tejo: 9 zonas, totalizando 4,092 km², concentradas na margem Norte e ao longo do Canal Sul, junto ao Farol de S. Julião da Barra (analisados na Figura 30).

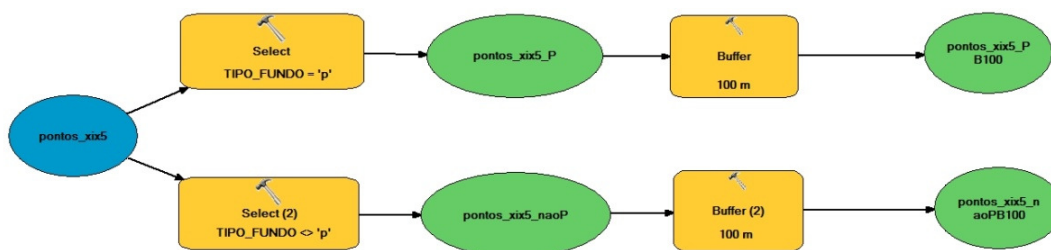


Figura 14 – Model Builder da seleção dos pontos com fundo pedra e não pedra (mapa 1857).

3.2.6 Geração de MDT

Após a aquisição vectorial (referida no Capítulo anterior) procede-se à geração dos TIN, como primeiro passo dos MDT. É relevante reforçar que, apesar da batimetria constituir normalmente uma superfície contínua, a maioria dos mapas em estudo apresenta dados discretos, pouco numerosos e fiáveis, que limitam os parâmetros admissíveis na geração dos modelos. Para a geração TIN utiliza-se a informação dos pontos e das curvas batimétricas, sendo uma das vantagens deste método, que foi preferido relativamente à geração da superfície com interpoladores (ver teste na Figura 16). A entidade limites arenosos não foi usada pois não contém informação de profundidade.

Os parâmetros seleccionados para a geração TIN foram:

- Pontos como *mass points*,
- Curvas como *soft lines*
- No campo *height field*, o valor usado é o da batimetria original convertida para metros.

Para geração posterior de curvas batimétricas ou superfícies de declives, o TIN é uma superfície adequada. No projeto em estudo, o objetivo é prosseguir para uma operação de álgebra de mapas, permitida apenas a formatos raster, pelo que se procedeu à conversão da superfície irregular triangulada para formato raster de profundidades.

Cada TIN é então convertido para *raster*, formato que permite e potencia a análise espacial, com os seguintes parâmetros:

- Tipo dados de saída = *Float*,
- Método de amostragem = *natural neighbours*,
- Dimensão das células (*cell size*) = 100.

Considerando que, a quantidade de pontos para a geração dos MDT era pequena, não são esperados elevados tempos de processamento e por isso se permitiu a escolha dos dados de saída com vírgula flutuante (*float*); caso contrário é aconselhado (ESRI, 2013a) a seleção de números inteiros (INT). Testaram-se diferentes métodos de amostragem (ESRI, 2013a) em alguns TIN históricos, tendo sido escolhido o método dos vizinhos naturais (é o considerado mais adequado para dados discretos, como é este o caso) pois gerou uma superfície mais suavizada que o método linear.

A Figura 15 mostra a sequência de operações realizadas nesta fase sobre o mapa de 1765 (BURGIS in BALDAQUE DA SILVA, 1893) e os correspondentes modelos de dados (a., b., c.). É evidente, na figura central, a dependência do TIN dos pontos batimétricos, em resultado da baixa densidade dos mesmos, facto que condiciona inevitavelmente a qualidade do MDT.

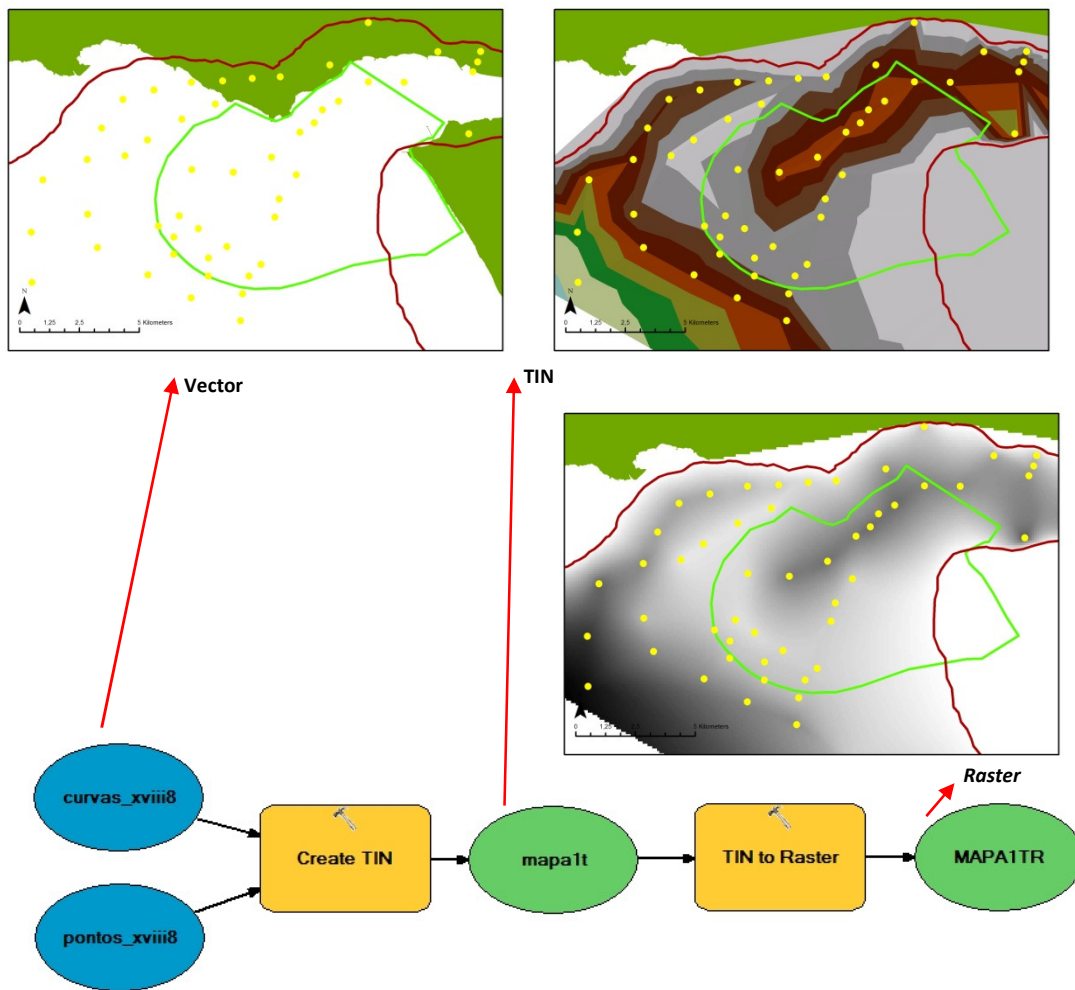


Figura 15 – Evolução do modelo de dados batimétrico (em cima, da esq. para a dta.) (AE e CAOP, 2014, a verde) e (em baixo) correspondente fluxograma (*model builder*) da geração do MDT para o mapa de 1765 (BURGIS *in* BALDAQUE DA SILVA, 1893).

Realizou-se adicionalmente um teste de produção do MDT batimétrico em formato *raster*, a partir dos pontos de profundidade, utilizando diversos interpoladores (cujos parâmetros constam da Tabela 8). A Figura 16 mostra o resultado dessa experiência que confirma, para o caso vertente, a adequação da escolha do método TIN para produção do MDT.

IDW	Kriging	Natural Neighbor (Vizinho mais Próximo)	Spline	Trend (Tendência)
Paramêtros comuns: utilização da entidade pontos batimétricos, valor de profundidade armazenado no campo Batimetria (metros), <i>raster</i> de saída para a geobatabase histórica com <i>pixel</i> de 100 m.				

$Power= 2$	Método de krigagem= Normal; Modelo do Semivariograma= Esférico	-	Tipo de Spline= Regularizado; Peso= 0,1	Ordem da polinomial= 1
Raio de Procura= Variável, Nº de pontos= 12	Raio de Procura= Variável, Nº de pontos= 12	-	Nº de pontos= 12	Tipo de Regressão= Linear
Figura 16, a.	Figura 16, b.	Figura 16, c.	Figura 16, d.	Figura 16, e.

Tabela 8 – Interpoladores e parâmetros aplicados ao mapa 1765.

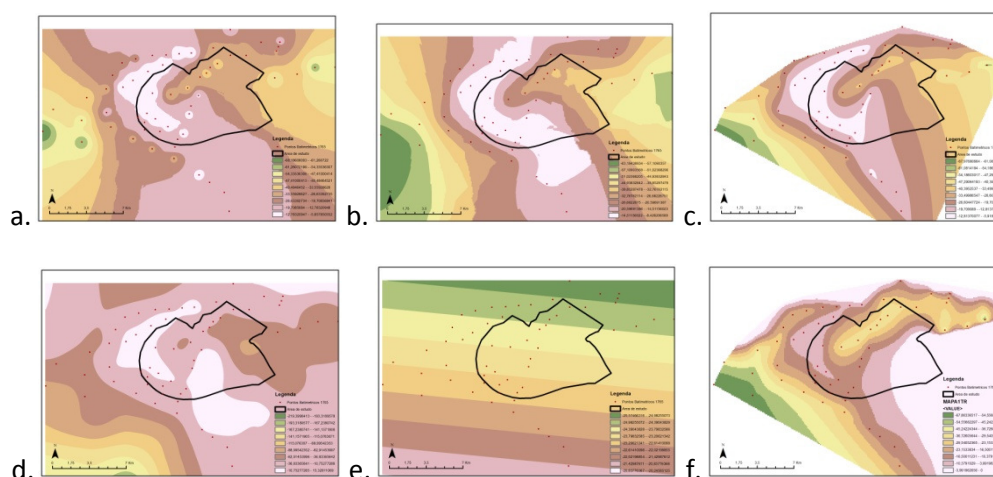


Figura 16 – Interpoladores aplicados ao mapa 1765 (BURGIS in BALDAQUE DA SILVA, 1893) (a. IDW, b. *kriging*, c. *natural neighbor*, d. *Spline e trend*). TIN (f.) (AE a preto).

Os interpoladores conseguem, com excepção da Interpolação por Vizinheiro mais Próximo, modelar a superfície para além dos pontos amostrados, enquanto que o TIN mantém a modelação no espaço destes (o que pode constituir uma limitação deste método). Analisada a distribuição dos valores de profundidades interpolados, a melhor é a obtida por Vizinheiro Natural. No entanto, a comparação visual ao conjunto das classes de profundidade ilustradas na figura, permite apontar o TIN como a melhor modelação obtida dado que o resultado mais se aproxima da realidade que sabemos existir.

3.2.7 Álgebra de Mapas

O culminar da metodologia agora proposta é atingido nesta fase, em que se realiza uma operação algébrica simples entre *raster* (que constituem os modelos finais de dados escolhidos). Objetivamente, procede-se a uma subtração dos valores (absolutos) de profundidade do *raster* de data recente e o *raster* de data antiga ($MDT_{recente} - MDT_{antigo}$). Obtêm-se um novo *raster* de diferenças que indica, para cada *pixel* (célula de localização

específica com 100 m de lado), qual a variação da profundidade entre datas. Essa variação fornece duas informações de carácter distinto:

- Quantitativo – expressa o valor da variação (os valores x e Y na Figura 17, de magnitudes diferentes),
- Qualitativo – expressa a direcção dessa variação; se é positiva, indica aumento da profundidade da data antiga para a data recente, indiciando retirada de materiais/erosão (Figura 17, diagrama à direita); se é negativa, indica diminuição da profundidade da data antiga para a data recente, indiciando deposição de materiais/acrecção (Figura 17, diagrama à esquerda).

Os termos de erosão e acreção são aqui usados, de forma simplista, com o significado de remoção ou deposição de material sedimentar, respetivamente. Não são aqui considerados, por se entender fora do âmbito do trabalho, outros factores determinantes deste tipo de fenómenos.

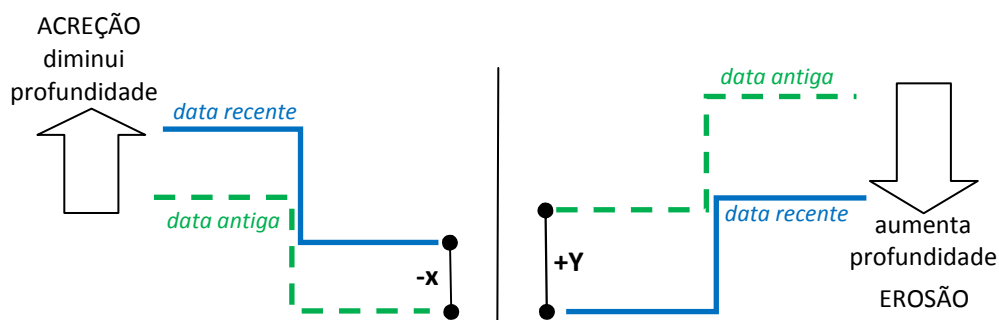


Figura 17 – Diagrama esquemático das diferenças de profundidade: à esq. negativa, à dta., positiva; linha a cheio = data recente, linha a tracejado = data antiga.

Esta álgebra temporal é essencialmente válida para fundos móveis, neste caso sedimentares como por exemplo, cascalho, areia ou argila, de que reconhecemos poder existir acumulação ou retirada, na foz do rio Tejo, ao longo do tempo. Assim, o *raster* das diferenças de profundidade (RDP) entre as duas datas, pode indiciar situação de acreção de materiais no fundo da foz do rio, quando a diferença de profundidades é negativa. Inversamente, pode indiciar erosão, quando a diferença é positiva.

Adicionalmente, será interessante assinalar magnitudes da alteração da profundidade, *i. e.*, onde se localizam as menores e as maiores alterações. Para tal, considera-se adequado estabelecer um intervalo de valores intermédios – aqui designado por “tolerância de medição” – e onde se considera que pequenos valores nas diferenças de profundidade podem ser devidos a outros factores (marés, método de medição, etc.) e não a efetiva movimentação de sedimentos. Para aquém e além deste intervalo é então considerada como efetiva a alteração da profundidade, com a consequente leitura de dinâmica das morfologias presentes na foz. Estas magnitudes podem efetivar-se por resimbolização dos RDP em determinadas classes cromáticas, tornando mais evidente a leitura do mesmo; caso contrário, é apenas um conjunto de células coloridas que correspondem a um número (Figura 18. a.).

Gerados os *raster* de diferenças de profundidade (RDP) entre duas datas (recente - antigo), foram então realizados testes de resimbolização, com 10 e 5 classes (considerando o histograma dos dados respectivos) e com 2 tolerâncias de medição. Estas são: o valor de um metro $[-1;1]$, arbitrário e o valor de 3,6 metros $[-3,6; 3,6]$, que resulta da diferença entre a altura da máxima preia-mar e a mínima baixa-mar, na zona de Cascais (MARTINS, 1995). A Figura 18 mostra um exemplo realizado para o mapa de 1765 – à esquerda sem resimbolização por intervalo personalizado (cada valor corresponde a uma cor num total de 255 cores) e à direita com resimbolização em 10 classes que integram o intervalo ± 1 m.

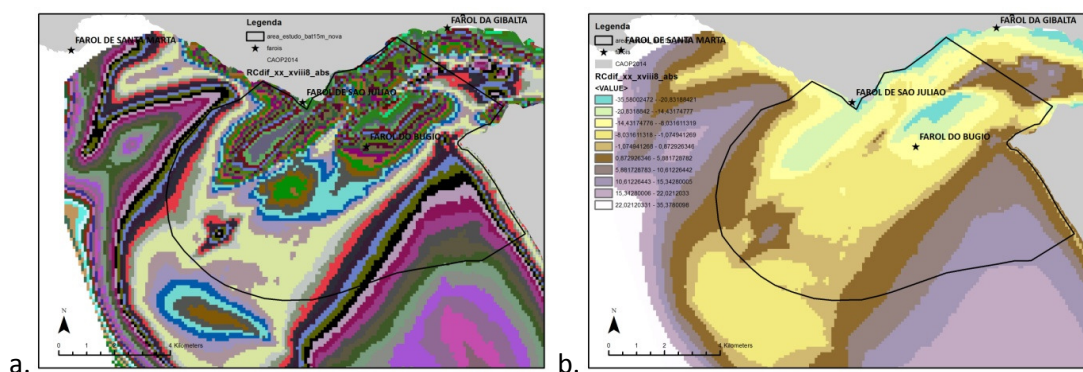


Figura 18 – Exemplo de RDP entre as datas ST e 1765 (AE a preto) (CAOP, 2014 a cinzento). (a.) 255 cores. (b.) 10 classes cromáticas incluindo $[-1,1]$.

A sensação de ajuste transmitida pela Figura 18, não é real, resulta da herança das características da situação de referência. É portanto necessário, reforçar que o exemplo apresentado nesta figura, não constitui um RDP válido dado que o desvio posicional do mapa 1765 relativamente à situação de referência está acima do critério de validação (ver Figura 2). Mais uma vez se reforça a necessidade da intervenção humana na validação das fases – a ferramenta SIG funciona mas é a intervenção humana habilitada que valida o resultado final.

O controle de qualidade desta análise é corporizado pela leitura manual, em 3 pontos seleccionados, do valor de profundidade nos *raster* envolvidos em cada RDP e verificando se a diferença encontrada coincide com a registada no RDP respetivo. Realizou-se ainda uma experiência de validação dos RDP com o fundo de rocha do mapa 1857.

Os resultados desta intenção, de realizar comparação entre os modelos digitais de profundidade, ao longo dos séculos a que correspondem os mapas antigos obtidos, permite, teoricamente, uma perspetiva histórica da evolução da batimetria e, consequentemente, contribuir para o conhecimento da evolução morfodinâmica da Foz do Rio Tejo, são apresentados no Capítulo 4. e as respetivas conclusões no Capítulo 5.

3.2.8 Dados Qualitativos e Semiquantitativos

Em face da quantidade de mapas que não puderam ser considerados para a análise MDT, entendeu-se adequado realizar, para estes, um outro tipo de análise, que não meramente quantitativa, que aproveitasse os dados neles constantes e produzisse informação útil para

o objetivo deste estudo (ver Tabela 2). Ainda assim e dado ao interesse da informação batimétrica neles constante, optou-se por realizar uma análise semiquantitativa à totalidade dos 32 mapas reunidos neste projeto.

Um elemento interessante a explorar neste trabalho, seriam as medições de distâncias e áreas. No entanto e no âmbito do presente trabalho, considera-se que nos mapas georreferenciados com um valor de EMQ superior a 100 m (ver Figura 2), desconhece-se a fiabilidade desse tipo de leituras. Por isso se entendeu mais adequado não realizar medições de natureza planar.

No entanto, nos mapas não georeferenciados digitais, é possível retirar uma informação com algum interesse: a razão das áreas dos bancos representados nos mapas históricos (valor adimensional) que pode ser considerada útil na determinação das proporções dimensionais entre os dois principais bancos existentes na Foz do Rio Tejo ao longo dos tempos. Procedeu-se ainda à avaliação das orientações médias dos bancos e dos canais (ao longo do eixo de maior extensão do elemento e com recurso a uma pequena rosa dos ventos – criada para o efeito de forma a sistematizar a avaliação – alinhada com a grelha da carta IGP, 2005).

Esta breve análise semiquantitativa e qualitativa dos mapas deste trabalho finaliza-se com a contabilização das profundidades ao longo do canal principal de navegação, em cada mapa e ao longo dos séculos. Para além da não existência ou legibilidade dos valores e alguma subjetividade na determinação nominal de cada sector do canal principal, a maior dificuldade a superar foi a consideração sobre qual das unidades batimétricas terá eventualmente sido utilizada em cada mapa (Anexo B.). A conversão posterior para as unidades atuais (metro) foi feita segundo a Tabela 9. A Figura 19 indica os locais onde foram lidos os valores de profundidade do canal no mapa de 1583: o círculo vermelho indica o sector Norte, o triângulo vermelho indica o sector Centro e o quadrado vermelho indica o sector Sul. Nos restantes mapas, houve o esforço de recolher estes dados em zonas similares às apresentadas na Figura 19.

Unidade Antiga de Profundidade	Valor em Metros
1 Braça Espanhola	1,83
1 Braça Francesa	1,949
1 Braça Holandesa	1,883
1 Braça Portuguesa	2,20
1 Braça Inglesa (<i>fathom</i>)	1,853

TABELA 9 – Correspondência entre as antigas unidades de profundidade e as unidades atuais (adaptado de GUERREIRO & GODINHO, 2005).

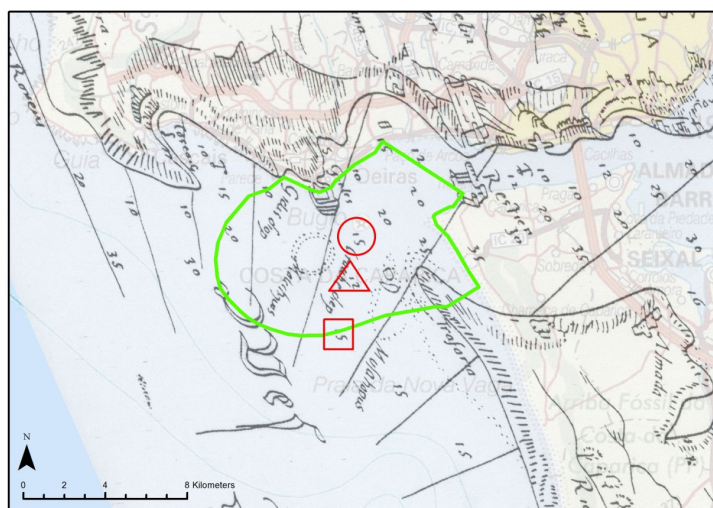


Figura 19 – Localização dos locais de leitura da profundidade do canal principal no mapa de 1583 (in FERREIRA LEMOS, 197?) (AE a verde) (Imagem de fundo: IGP, 2005).

Para obtenção de resultados neste tipo de análise, realizaram-se as seguintes leituras nominais:

- representação ou toponímia inscrita de elementos morfológicos submersos (Bancos e Canais) na Foz do Rio Tejo: sim ou não (Anexo B, 1ª lista);
- se sim, qual a quantidade e quais: Banco identificado como Cachopo Norte, Banco identificado como Cachopo Sul, Canal Principal de Navegação, Canal Secundário, Golada;
- orientações dos Bancos e dos Canais representados: N-S, NNE-SSW, NE-SW, ENE-WSW, E-W;
- registo das profundidades inscritas ao longo do Canal Principal de Navegação, em 3 dos seus segmentos (Anexo B, 2ª lista);
- medição da área dos Bancos nas imagens originais não referenciadas e cálculo da respetiva razão.

Considerou-se, para efeitos do presente trabalho, que:

- as orientações referem-se a uma estimativa visual aproximada, apoiada em rosa dos ventos, dos eixos maiores principais centrais dos elementos (bancos desenhados ou nomenclatura de canais) e remetem para o respetivo enquadramento cartográfico considerado como norte cartográfico.
- sempre que existia, no mapa antigo, mais do que um valor de profundidade em cada um dos segmentos do canal principal, foi calculada a média simples dos valores constantes no mapa (identificadas a negrito na respetiva lista do Anexo B).
- Sempre que existia mais do que uma representação de acumulação arenosa em cada banco foi feita a soma dessas áreas.

4. RESULTADOS

Para a metodologia e mapas testados, considera-se de modo geral que:

- Quanto à informação cartográfica batimétrica, os resultados permitem confirmar uma distinção qualitativa entre alguns mapas do século XIX e os anteriores.
- Quanto à evolução morfodinâmica da área de estudo, entende-se que algumas das informações qualitativas e quantitativas obtidas são interessantes e podem contribuir para o conhecimento da evolução secular da zona, desde que ponderamente analisados os resultados.

Seguindo a estrutura geral da Tese nos Capítulos anteriores, os resultados obtidos são apresentados e discutidos por temáticas nos Sub-Capítulos seguintes. As decorrentes conclusões encontram-se no Capítulo 5.

4.1 ANÁLISE QUANTITATIVA

Considerando os 32 mapas antigos seleccionados e o limite de erro admitido para a operação de georreferenciação, apenas 2 mapas (do século XIX) cumpriram este requisito, pelo que esta análise quantitativa se reduz à comparação de dois MDT com a situação de referência (século XX). Ao longo do texto sobre os métodos, foram apresentados exemplos de processamento com mapas de outras datas, que, no entanto, não foram aprovados no critério de validação (parâmetro EMQ) já referido e foram, portanto, excluídos da análise quantitativa. Este resultado apenas evidencia:

- A notável capacidade das ferramentas SIG de processar os dados/informação,
- O necessário arbítrio final do(a) investigador(a) habilitado sobre a qualificação dos dados para análise.

Na concretização deste projecto, processou-se o seguinte volume de trabalho:

- 206 suportes cartográficos analisados;
- 32 mapas seleccionados;
- 10 fontes de dados acessórias,
- 28 pontos históricos notáveis,

Da conjugação da informação batimétrica que constitui a situação de referência (ver Capítulo 3.2.2) e da base vectorial de faróis utilizada (ver Capítulo 3.2.4), resultam alguns dados interessantes que são apresentados na Tabela 10 e esclarecidos na Figura 20.

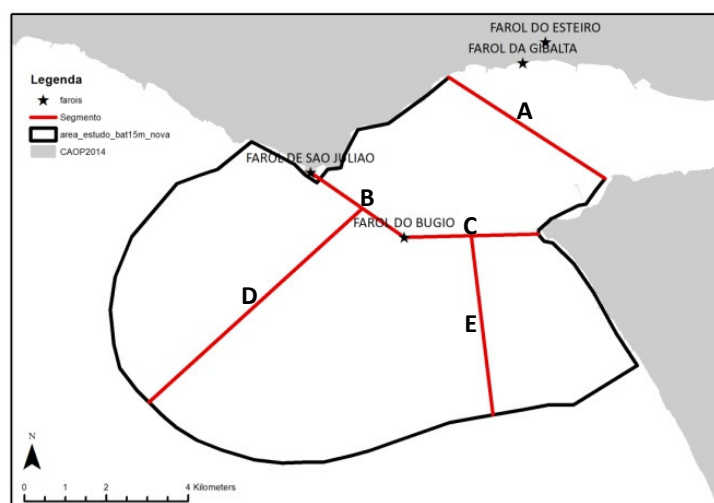


Figura 20 – AE (a preto) e localização dos segmentos (a vermelho) medidos na Tabela 10 (CAOP, 2014 a cinzento).

Área de Estudo (AE) e MDT da Situação de Referência (ST)	Valores
Área da AE	80,27 Km ²
Comprimento do segmento A na Figura 20, (Paço de Arcos – Trafaria)	4.547,24 m
Comprimento do segmento B na Figura 20, (Farol de S. Julião da Barra – Farol do Bugio)	2.781,43 m
Comprimento do segmento C na Figura 20, (Farol do Bugio – Cova do Vapor)	3.271,46 m
Comprimento do segmento D na Figura 20, Canal Sul	7.048,64 m
Comprimento do segmento E na Figura 20, Farol do Bugio/Cova do Vapor e o fim da AE a Sul	4.406,28 m
MDT ST – Nº de Colunas e Linhas; Dimensão do <i>pixel</i>	129/94; 100 m/100 m
MDT ST – Profundidade máxima e mínima	-39,26 m/1,02 m
MDT ST – Profundidade no ponto de cruzamento entre os segmentos B e D na Figura 20	-28 m
MDT ST – Profundidade no ponto de cruzamento entre os segmentos C e E na Figura 20	-2,21 m
MDT ST – Profundidade no Farol do Bugio	-5,29 m
MDT ST – Valor médio de profundidade e desvio padrão	-11,42 m/6,13

Tabela 10 – Estatísticas recolhidas sobre a AE e o MDT da ST.

A realização das operações de georreferenciação, resultou em:

- Produção de 20 novos mapas e respectivos ficheiros de texto das coordenadas de transformação;
- Média de pontos de controle utilizados foi de 7 (mínimo 5 e máximo 12);
- Conjunto de GCP específico de cada mapa foi obtido por seleção, no momento da georreferenciação, das melhores localizações possíveis/reconhecidas no mapa e do menor erro médio possível;
- Seleção de 9 pontos de aferição de qualidade (verificação do ajuste dos mapas novos à referência): Farol da Guia, localidade de Cascais, Forte de S. Julião da Barra, Farol Bugio, Torre de Belém, Castelo de S. Jorge, localidade de Almada, localidade de Sesimbra, Cabo Espichel.

O principal resultado destas operações de georreferenciação é o Erro Médio Quadrático (EMQ) cuja variação ao longo das datas analisadas, é apresentada no gráfico da Figura 21. A média dos EMQ é de 2.168,96 (apesar de ser um valor adimensional, considera-se que toma a unidade em que estamos a trabalhar, metro), representada pela linha vermelha da citada figura. Analisando o gráfico, verifica-se que os valores de erro são de ordem de grandeza quilométrica, que o erro da maioria dos mapas é abaixo da média e que apenas 3 mapas, oitocentistas, têm EMQ abaixo de 100 m (especificamente: 1811=40,18 m; 1857=17,91 m e 1882=42,08 m).

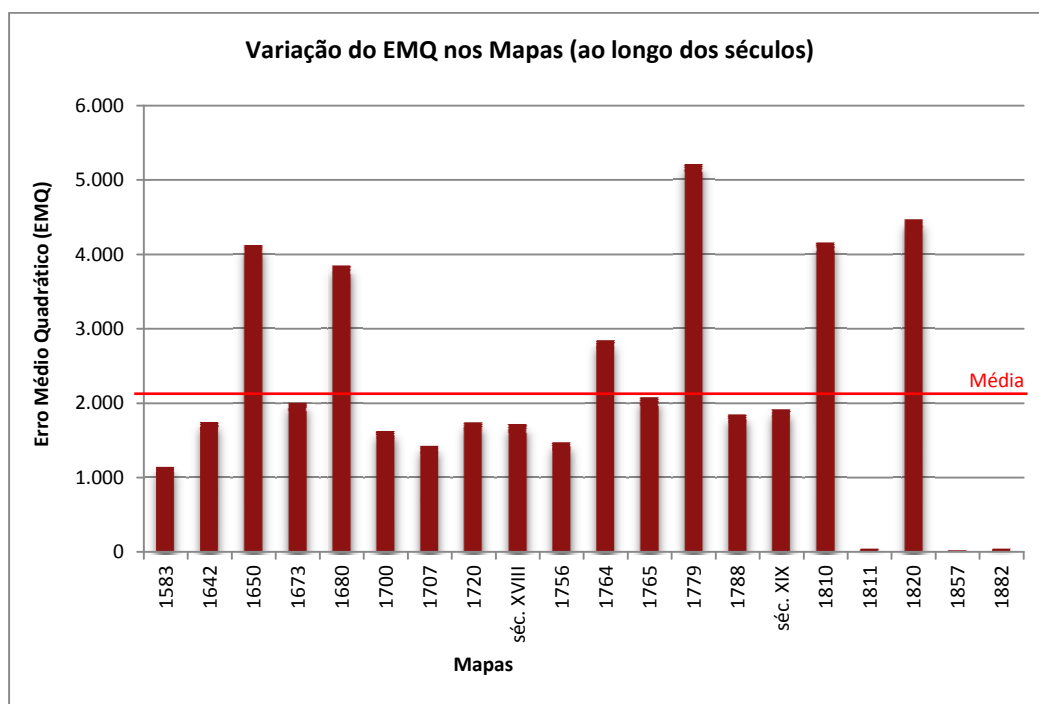


Figura 21 – Gráfico dos erros médios quadráticos (EMQ) obtidos nas operações de georreferenciação dos mapas antigos.

Destacam-se no gráfico 3 grupos de valores de EMQ: erro na ordem do *pixel* (no caso vertente, 100 m), erro na ordem dos 2.000 m e erro na ordem dos 4.000 m.

Outro resultado desta operação é a avaliação dos ajustes entre o novo mapa e o mapa de controle, através da medição da respectiva distância planar em pontos de verificação deste ajuste. Pela sua importância na AE, mostra-se uma comparação entre os faróis de S. Julião da Barra e do Bugio, na Figura 22. Verifica-se que S. Julião é representado em 100% dos mapas contrariamente à posição do Farol do Bugio que surge em 82% deles. Na maioria dos mapas em que surgem ambos os faróis, o Bugio regista desvios maiores que S. Julião. A média de cada série de distâncias medidas ao longo dos séculos é de 2.124,85 m para S. Julião e de 2.592,13 m para Bugio.

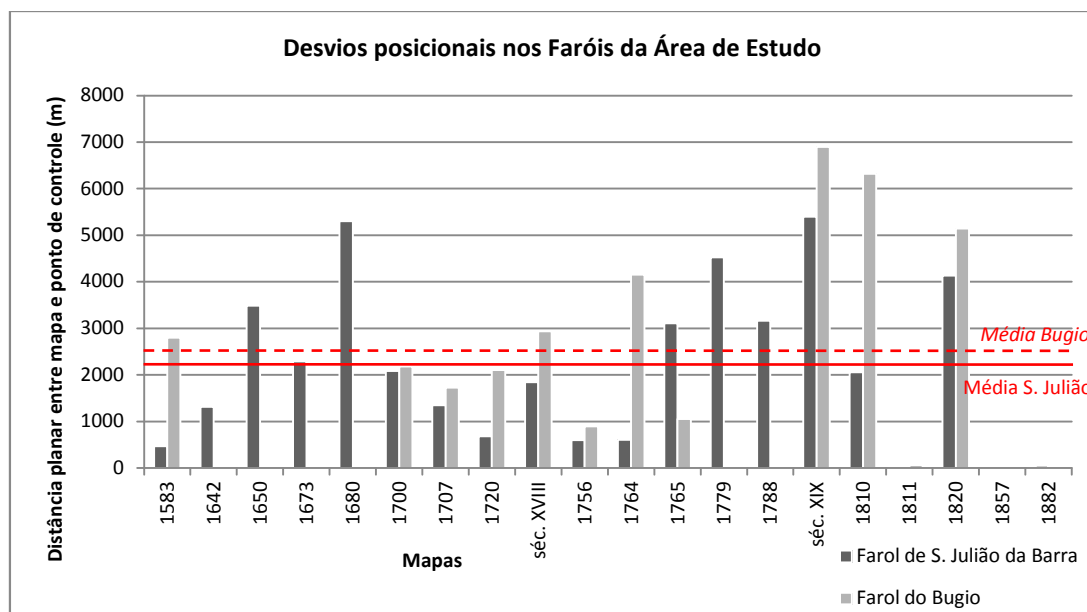


Figura 22 – Gráfico dos desvios posicionais (m) nos Faróis na AE (S. Julião da Barra e Bugio).

A análise dos desvios posicionais dos Faróis da área de estudo (S. Julião e Bugio) permite testar a fiabilidade comparativa de ambos como pontos de avaliação do ajuste da georreferenciação. Considerando que o primeiro está instalado na margem norte, rochosa, fixa do rio e acessos facilitados e o segundo instalado no meio do rio num Banco arenoso, móvel, então este último tem uma posição mais difícil de localizar exatamente, com técnicas antigas (nos mapas onde consta apenas o nome do Farol, não pode ser usado como ponto de aferição). Os resultados ilustrados na Figura 22 indiciam uma maior fiabilidade posicional nos mapas antigos do Farol de S. Julião relativamente ao do Bugio.

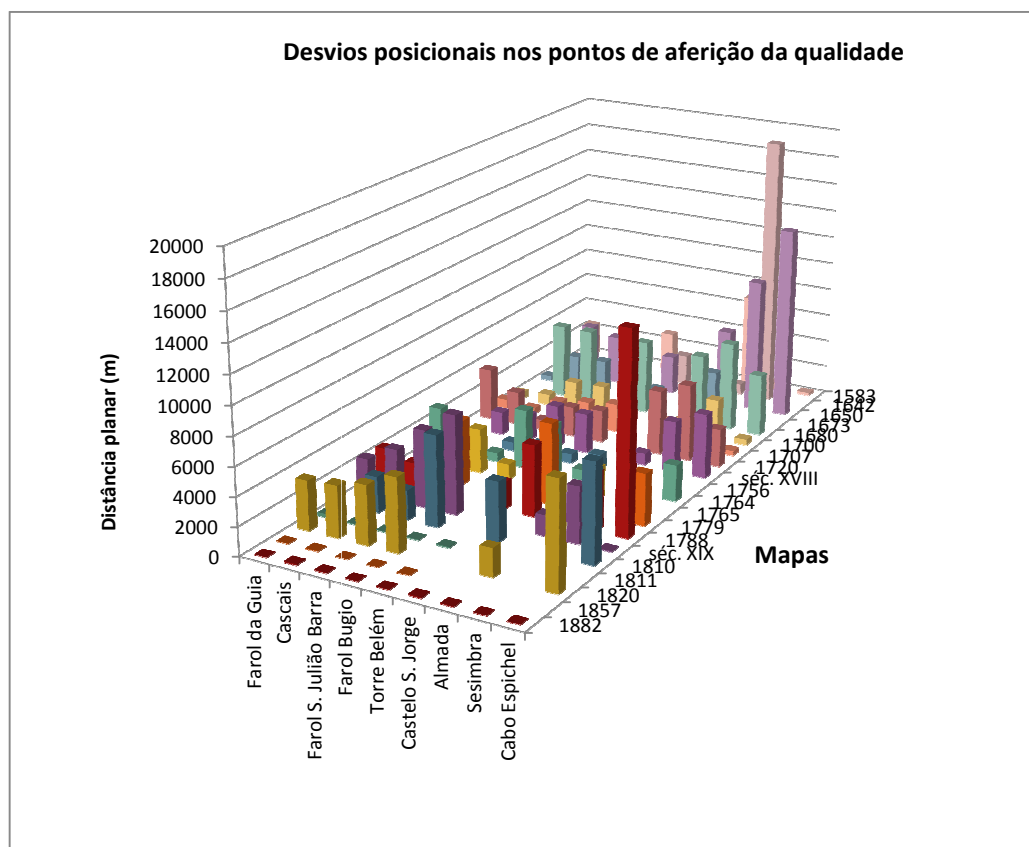


Figura 23 – Gráfico dos desvios posicionais dos mapas, nos pontos de aferição da qualidade da georreferenciação.

Esta Figura 23 resume todos os desvios posicionais medidos, nos 20 mapas georreferenciados para os 9 pontos de aferição do ajuste. É nítida a diferença de resultado dos já referidos 3 mapas oitocentistas em relação aos restantes, com valores acima do tamanho de *pixel* escolhido – 100 m (ver Tabela 11).

Data	Farol da Guia	Cascais	Farol S. Julião	Farol Bugio	Torre Belém	Castelo S. Jorge	Almada	Sesimbra	Cabo Espichel
1811	240,55m	59,92m	44,15m	60,56m	77,1m	-	-	-	-
1857	23,8m	49,01m	10,03m	9,88m	18,03m	-	-	-	-
1882	22,57m	89,8m	46,86m	29,60m	39,25m	78,33m	53,9m	24,47m	29,64m

Tabela 11 – Desvios posicionais (m) nos mapas oitocentistas: 1811, 1857, 1882.

Em face do que foi ilustrado, o resultado final da georreferenciação é a selecção destes mapas (1811, 1857, 1882) para a geração de MDT. No entanto, a análise mais detalhada do mapa 1882 revela que contém a mesma informação de profundidades que o mapa de 1857 (para o qual foram realizados levantamentos específicos, que lhe conferem maior fiabilidade), pelo que o mapa 1882 foi retirado da geração MDT.

Na Figura 24, os 2 mapas seleccionados são apresentados conjuntamente com a área de estudo delimitada a preto, numa escala de visualização 1:300.000 e com transparência de

25% de forma a permitir visualizar o respectivo ajuste ao recorte terrestre (CAOP, 2014; a cinzento).

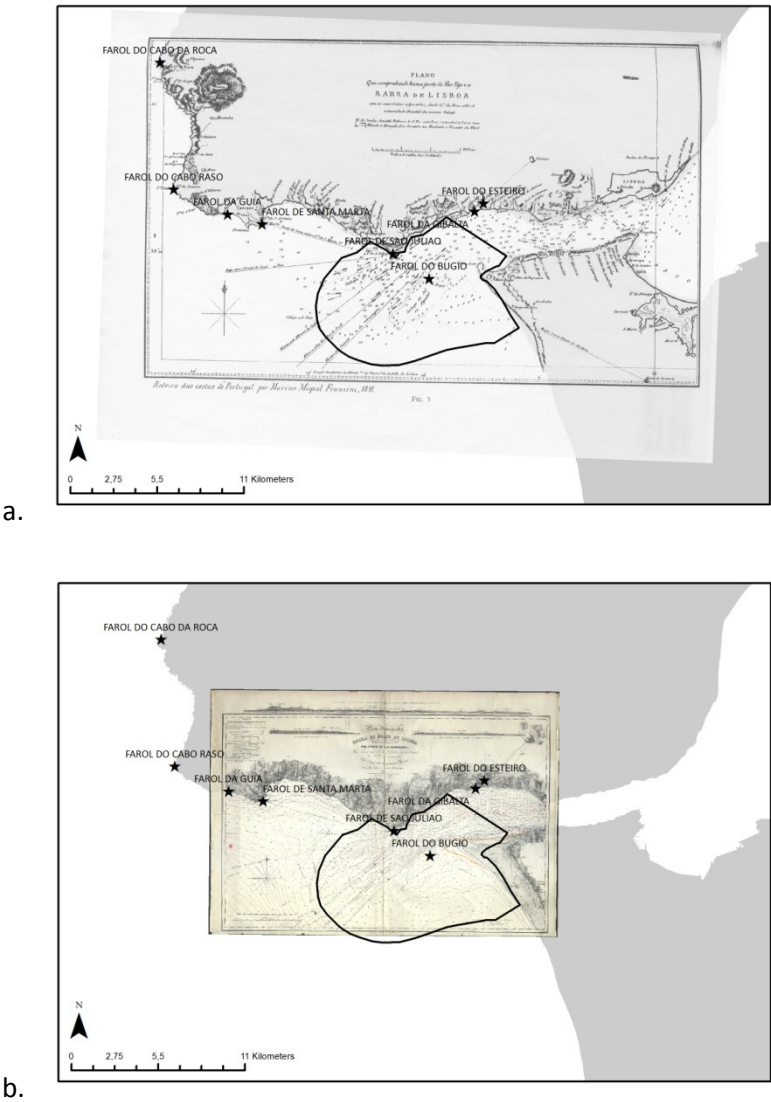


Figura 24 – Mapas selecionados para produção de MDT. a. 1811 (FRANZINI, 1811) b. 1857 (SILVA et al., 1857) (AE a preto) (CAOP, 2014, a cinzento).

Recolheram-se na Tabela 12, algumas das principais informações transmitidas pelos mapas em papel.

Entidade	1811	1857
	Latitudes e Longitudes	Latitudes e Longitudes
Coordenadas	Longit. Occidental do Merid. Do Observ ^o do Castello de Lisboa	Longitude do Onservatorio do Castello de Lisboa a 0 ^o do Observatorio de Greenwich 9 ^o 5'47''; D ^a a 0 ^o do Observatorio de Paris 11 ^o 26' 0''

Escala	3 milhas – 5,5 cm	1:20.000
Norte	Rosa dos Ventos com indicação de Norte	Rosa dos Ventos com indicação de Norte e da declinação
Sondas	em <i>Fathoms</i> , reduzidas à baixa mar	em Metros referidas à baixamar das maiores aguas

Tabela 12 – Informações dos mapas 1811 e 1857.

A Tabela 13 resume os resultados da vectorização das informações de profundidade efectuada aos mapas 1811 e 1857 e onde é evidente a maior quantidade de elementos que contribuíram para os MDT, gerando portanto modelos com maior qualidade da data mais antiga para a mais recente.

Mapa vectorial	1811	1857	ST
Número de linhas (curvas/limites arenosos)	2/17	19/8	26
Número de pontos	196	729	8.247

Tabela 13 – Elementos vectorizados nos mapas 1811 e 1857 e dados da situação de referência.

Uma comparação visual entre os elementos é permitida na Figura 25.

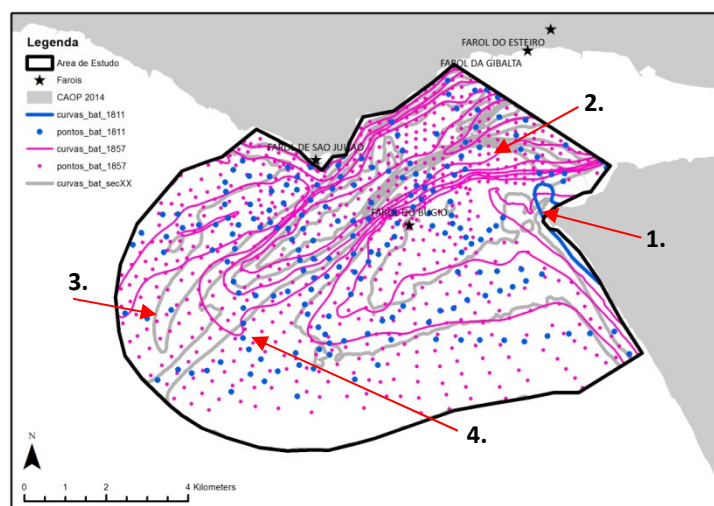


Figura 25 – Elementos vectoriais dos mapas de 1811 (a azul) e 1857 (a rosa). AE a preto. Curvas batimétricas da ST no fundo, a cinza claro. (CAOP, 2014, a cinzento).

É evidente o aumento da quantidade de pontos batimétricos que associados à evolução da distribuição homogénea pela área, conferindo aos dados uma cada vez maior representatividade da zona ao longo do século XIX. As zonas assinaladas (1., 2., 3. e 4.)

nesta figura revelam diferenças que são de realçar, de 1811, para 1857 e para séc. XX (ver Figura 4 para os elementos morfológicos):

- A Praia, na zona da Cova do Vapor, revela uma importante movimentação horizontal da sua linha de profundidade zero (1.);
- As linhas isobatimétricas da zona norte do banco do Bugio (2.), alteram a sua posição mais para NE;
- O Banco Norte na zona do Bico de Pato (3.), aproxima-se do Canal Sul;
- A parte terminal do Canal Sul (4.) apresenta uma diferente configuração da batimétrica dos 15 metros.

Após esta tarefa, produziram-se os MDT cuja informação estatística básica é apresentada na Tabela 14.

Entidade	1811	1857	ST (Séc. XX)
Nº de Colunas, Linhas	129/94	129/86	129/94
Profundidade máxima/mínima	-38,78 m/0 m	-41,3 m/0 m	-39,26 m/1,02 m
Média de profundidade/Desvio padrão	-14,76 m/7,76	-12,32 m/7,41	-11,42 m/6,13

Tabela 14 – Estatísticas dos MDT das datas 1811, 1857 e situação de referência.

Os modelos digitais de profundidade foram produzidos para a Área de Estudo e portanto as dimensões em Colunas/Linhas são iguais exceptuando no MDT de 1857 cuja informação não abrange a totalidade da AE. A variação da profundidade máxima registada na AE do século XIX para o XX é da ordem dos 2 m. A profundidade mínima registada na ST refere-se ao Banco do Bugio e não surge nos mapas do século XIX pois essa zona não está identificada com pontos (há apenas representação de corpos arenosos nessa zona, sem indicação de profundidade ou cota).

Obviamente, o resultado da análise da Figura 26 é coerente com a análise já efectuada aos elementos vectoriais – manutenção de canal com bancos laterais, existência do Banco do Bugio e de uma suave superfície que vai aprofundando do Bugio para Sul, em frente à Caparica. Também aqui, como na Figura 25, se observam zonas que revelam diferenças entre as datas: sector terminal do Canal Sul e do Cachopo Norte e zona entre o Bugio e a Cova do Vapor.

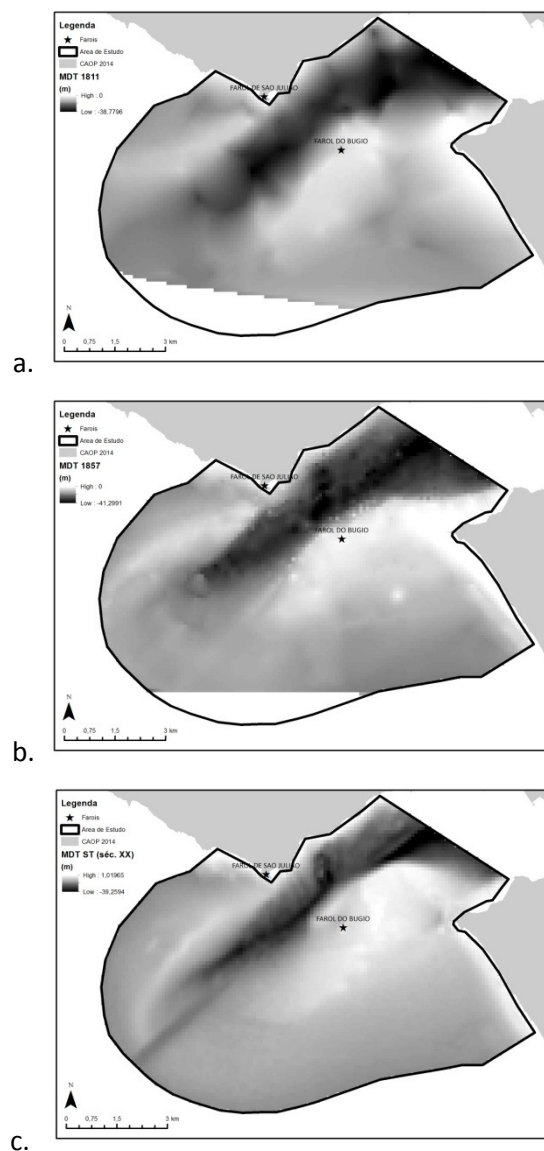


Figura 26 – Modelos Digitais de Terreno (a.) mapa de 1811, (b.) mapa de 1857, (c.) Situação de Referência (séc. XX). (AE a preto) (CAOP, 2014, a cinzento).

Uma vantagem da produção destes MDT seculares, é a modelação de zonas para as quais não consta, nos mapas antigos, informação batimétrica. O Canal Sul é, pela sua importância, uma localização preferencial para o conhecimento da sua evolução. Neste enquadramento, foram produzidos os perfis longitudinais de fundo do Canal Sul (Figura 27), para as datas 1811, 1857 e ST ao longo do segmento de linha D apresentado na Figura 20.

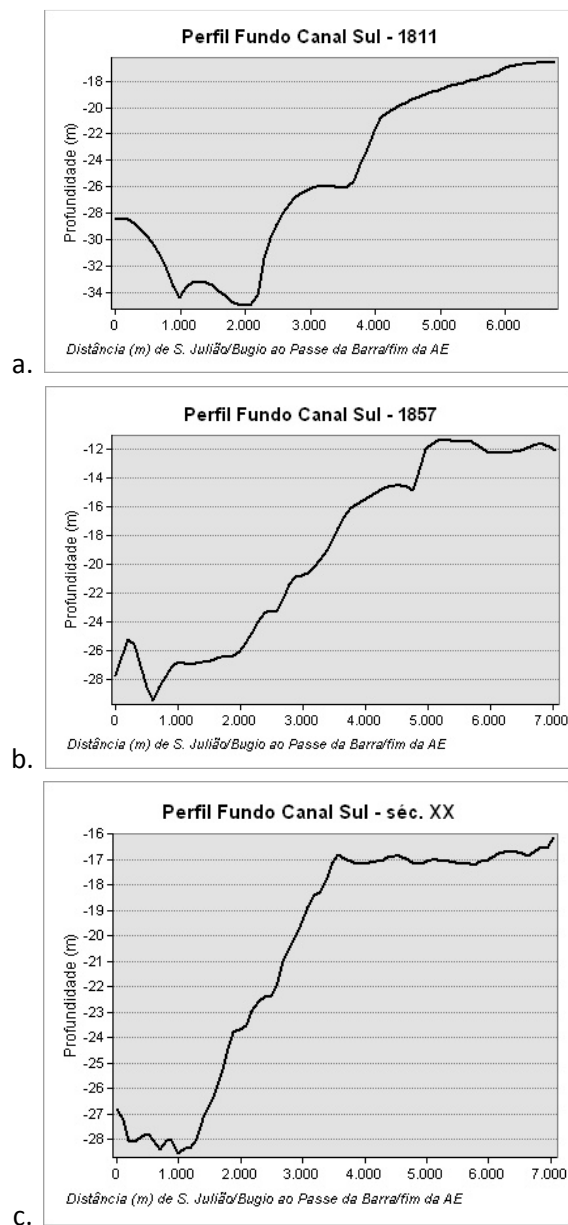


Figura 27 – Perfis longitudinais do fundo do Canal Principal (ao longo do segmento de linha D. na Figura 20), gerados a partir dos MDT (a.) 1811 (b.) 1857 (c.) ST.

Como resultado da visualização dos perfis da figura anterior, apresentam-se as estimativas correspondentes na Tabela 15. Os resultados apontam para a manutenção global das características do perfil do Canal Sul com pequenas variações que são analisadas no Capítulo 5.

Estimativas Visuais	1811	1857	ST (Séc. XX)
Início do perfil (S. Julião/Bugio) e distância ao fim do perfil (Passe da Barra /fim da AE)	0/6.700 m	0/7.000 m	0/7.000 m
Profundidade no início e fim do perfil	-28 m/-17 m	-27 m/-12 m	-26 m/-16 m
Profundidade máx. e distância a que ocorre, a partir do início do perfil	-34 m/2.000 m	-28 m/600 m	-28 m/1.000 m
Profundidade mín. e distância a que ocorre, a partir do início do perfil	-18 m/6.700 m	-12 m/5.000 m	-16 m/3.500 m

Tabela 15 – Estimativas observadas nos perfis da Figura 27.

Obtidos os resultados dos perfis, finaliza-se a análise espacial com a álgebra simples de mapas prevista. Conforme referido no Capítulo 3.2.7, geraram-se dois *Raster* de Diferenças de Profundidade (RDP), em metros: um, obtido pela diferença entre os valores de 1811 e 1857; outro, entre os valores de 1857 e a situação de referência (séc. XX). A Figura 28 ilustra ambos os RDP, resimbolizados para facilitar a leitura e interpretação dos dados. Esta classificação cromática foi realizada com recurso ao método de quebras naturais (*Jenks*) com 5 classes. Dois dos pontos de quebra, correspondem à “tolerância de medição” = -3,6 e 3,6; descartou-se o outro valor testado (um) dado que era arbitrário e, como tal, sem reflexo natural na zona. Os outros dos pontos de quebra, correspondem aos valores -9 e 9 (acima dos quais ocorrem poucos resultados).

Na Figura 28, as cores roxas indicam valores negativos de diferenças de profundidade, correspondendo portanto a diminuição da profundidade/deposição de material sedimentar móvel/acreção enquanto que, as cores verdes indicam valores positivos de diferenças de profundidade, correspondendo a aumento da profundidade/remoção de material sedimentar móvel/erosão (na sequência do que foi esquematizado na Figura 17). A Figura 28, apresenta uma cor creme, que corresponde à classe intermédia de diferenças de profundidade, *i.e.*, a alteração de profundidade registada não ultrapassa o critério de “tolerância de medição” que se situa no intervalo de -3,6 a +3,6; correspondendo portanto a zonas estáveis, sem movimentação de sedimento móvel. Ainda nesta figura, as tonalidades de cada cor (claro e escuro) indicam a magnitude de alteração da profundidade: os tons claros correspondem a diferenças de profundidade entre |3,6| e |9| e os escuros, a diferenças de profundidade acima de |9|.

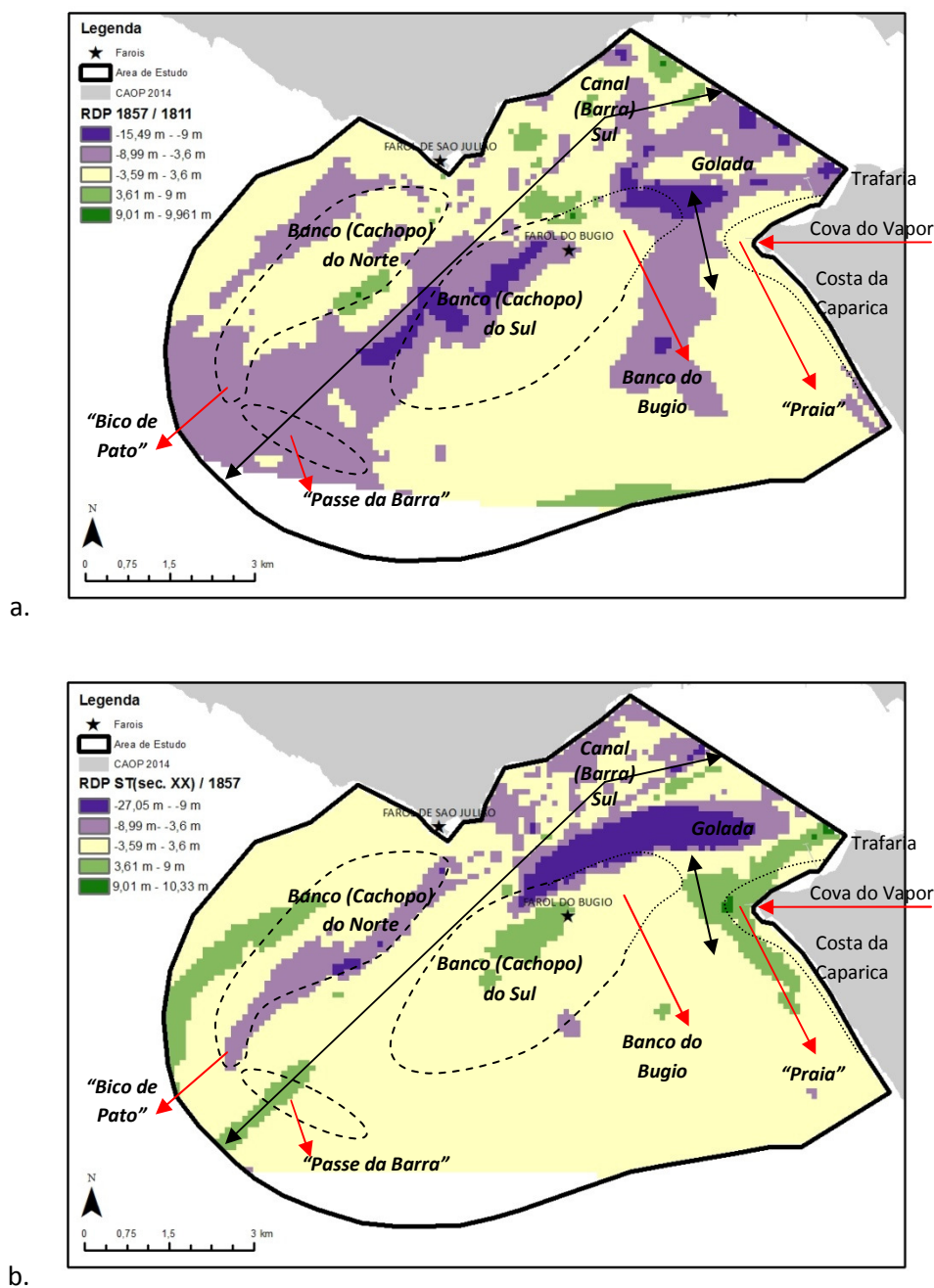


Figura 28 – Raster de Diferenças de Profundidade (RDP).
(AE a preto) (CAOP, 2014, a cinzento).

(a.) entre 1857 e 1811 (b.) entre ST (séc. XX) e 1857.

Valores positivos – remoção de sedimento móvel/erosão (tons verdes).

Valores negativos – deposição de sedimento móvel/acreção (tons roxos).

Valores na “tolerância de medição” – sem movimentação de sedimento móvel (cor creme).

Localizações aproximadas dos elementos morfológicos na Foz do Rio Tejo.

Como resultados do que é apresentado na Figura 28 e com base na identificação aproximada de zonas apresentada, podemos considerar que do *Raster* de Diferenças de Profundidade mais antigo (a.) para o mais recente (b.):

- Se deduz uma área de estudo estável mas com importantes áreas de deposição em (a.) enquanto em (b.) estas zonas de acreção diminuem consideravelmente, sendo maioritárias as zonas sem movimentação de materiais sedimentares.
- O RDP (a.) aponta duas importantes áreas de deposição: ao longo do Canal Sul, para Sul do segmento São Julião/Bugio (com maior magnitude na vertente Norte do Cachopo Sul), estendendo-se para SW e W depois da zona do Bico de Pato; a outra zona estende-se para Norte e NE do Banco do Bugio e para Sul deste Banco (com maior magnitude no próprio Banco). Ocorre uma terceira zona de deposição, menor, a NW do Cachopo Norte.
- Estas zonas de deposição modificam-se e diminuem em (b.) mantendo no entanto 2 áreas principais: na vertente Norte do Banco do Bugio (estendendo-se até ao respectivo Farol) e entre o Cachopo Norte e o Canal Sul. Ocorrem ainda áreas dispersas ao longo do Canal Sul e junto à linha de costa para NE do segmento S. Julião/Bugio.
- No que respeita às áreas de remoção de material sedimentar/erosão, estas ocorrem em (a.) em pequenas áreas ao longo do Canal Sul na área de Estudo. Em (b). as zonas de erosão encontram-se em locais e com extensão diferente: na zona da Praia ao longo da linha de costa (frente à Trafaria, Cova do Vapor, Costa da Caparica); no sector Norte do Cachopo do Sul (até ao Farol do Bugio), no sector terminal do Canal Sul (Passe da Barra) e na zona Centro e Sul do Cachopo Norte.

Enquanto os RDP da Figura 28 representam intervalos temporais de, aproximadamente, 100 anos e 50 anos, a Figura 29 apresenta um Raster de Diferenças de Profundidade que representa um intervalo de tempo superior – aprox., 150 anos, entre a situação de referência (cujos metadados localizam a recolha de informação aprox. na 2ª metade do século XX) e 1811.

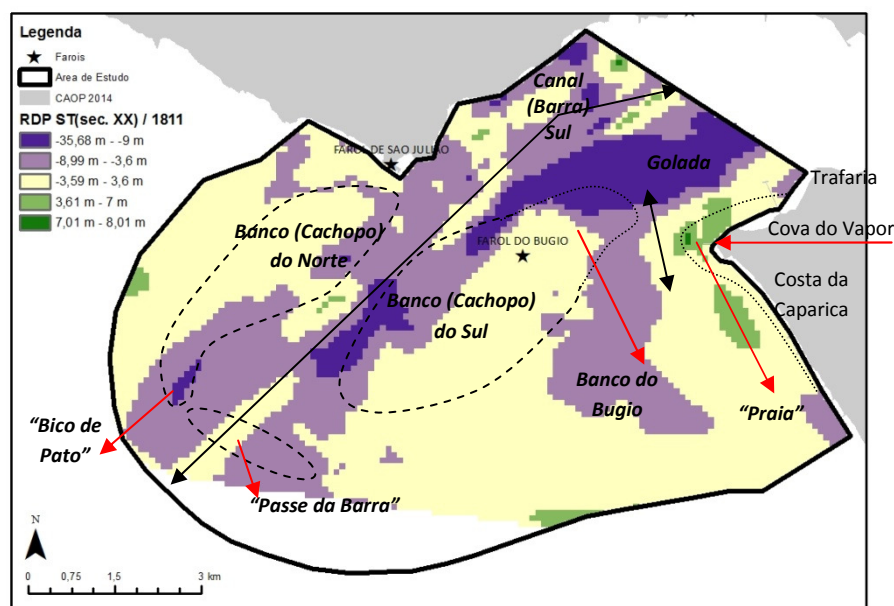


Figura 29 – RDP entre ST (século XX) e 1811.

(AE a preto) (CAOP, 2014, a cinzento).

Valores positivos – remoção de sedimento móvel/erosão (tons verdes).

Valores negativos – deposição de sedimento móvel/acreção (tons roxos).

Valores na “tolerância de medição” – sem movimentação de sedimento móvel (cor creme).

Localizações aproximadas dos elementos morfológicos na Foz do Rio Tejo.

A representação gráfica da Figura 29 é similar à anterior e a respetiva análise indica:

- A área de estudo passa a ser dominada por uma extensa zona de deposição de materiais móveis, que se estende ao longo e lateralmente ao Canal Sul e no Banco do Bugio (a Norte e NE do Banco e a Norte da Golada), alongando-se para Sul em frente à Praia; O Banco do Bugio representa uma extensa área de maior amplitude de valores negativos de diferenças de profundidade.
- As áreas de remoção de materiais sedimentares móveis/erosão são diminutas concentrando-se as maiores na Praia, junto da Cava do Vapor e em frente à Costa da Caparica.
- A restante área de estudo apresenta valores que se situam dentro do intervalo de tolerância, correspondendo a uma estabilidade da cobertura sedimentar móvel.

Referem-se alguns dados estatísticos básicos dos *raster* de diferenças de profundidade (Tabela 16).

Raster Diferenças Profundidade (RDP)	1857/1811	ST/1857	ST/1811
Valor Mínimo	-15,5 m	-27,05 m	-35,68 m

Valor Máximo	9,96 m	10,33 m	8 m
Média/Desvio padrão	-2,43 m/3,36 m	-1,03 m/4,21 m	-3,46 m/4,7 m

Tabela 16 – Estatísticas dos RDP para as datas 1857/1811, ST/1857 e ST/1811.

Os RDP foram ainda utilizados para um exercício informativo adicional. Com base na determinação do fundo rochoso de 1857 (Figura 14), foi este sobreposto aos RDP ST/157 e 1857/1811 (Figura 30). A área mais extensa de zona de rocha (que se estende junto à linha de costa desde o Farol de S. Julião até Paço de Arcos (aprox.) é considerada a mais relevante e para a qual são analisados os resultados.

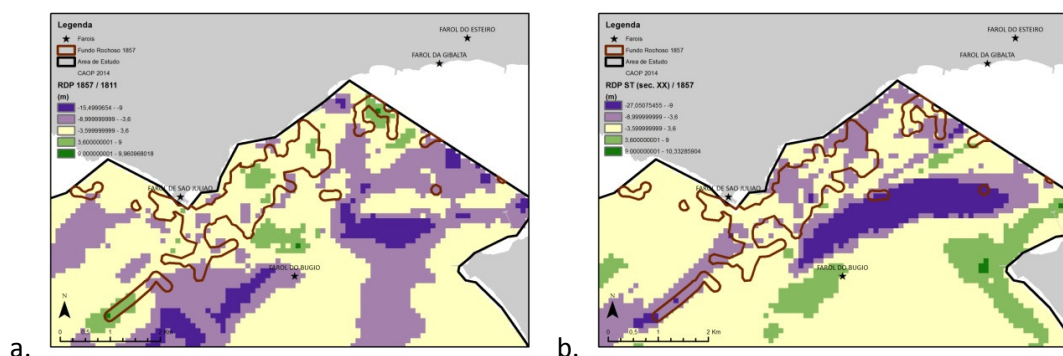


Figura 30 – Visualização do fundo rochoso de 1857 sobre os RDP, do mais antigo para o mais recente (a.) 1857/1811 (b.) ST/1857. (AE a preto) (CAOP, 2014, a cinzento).

Da análise visual da figura resulta:

- (a.) É maioritária a coloração creme do RDP antigo nas áreas de fundo rochoso de 1857, o que indica alteração de profundidades dentro da tolerância de medição estabelecida e portanto coerente um fundo rochoso estável e sem alterações (e consistente com a situação atual).
- (b.) É maioritária a coloração lilás do RDP recente nas áreas de fundo rochoso de 1857, correspondente a valores negativos, que são considerados como correspondendo a deposição de sedimento móvel e portanto acreção de materiais.
- (c.) Apenas no RDP antigo ocorrem pequenas manchas dispersas de cor verde nas áreas de fundo rochoso de 1857, consideradas correspondentes a retirada de material/erosão.

4.2 ANÁLISE QUALITATIVA E SEMIQUANTITATIVA

O Anexo B. contém as listas onde constam as anotações obtidas pela análise qualitativa visual e semiquantitativa realizada aos 32 mapas objecto deste estudo (2 mapas do século XVI, 8 mapas do século XVII, 13 mapas do século XVIII e 9 mapas do século XIX) e cujos principais resultados se reproduzem aqui. O Anexo E. reproduz os mapas utilizados neste trabalho.

É interessante registrar que é ligeira a variação da toponímia dos locais analisados ao longo dos séculos, apesar da diversidade de origens dos autores. Quanto aos bancos, desde o século XVI, que o banco norte da Foz se designa Cachopo, enquanto que a designação do banco sul só surge no século XVII como Cabeça Seca. Os nomes Cachopo do Norte e Cachopo do Sul ou Alpeidão estabilizam no século XIX. Quanto aos canais, o norte designava-se, em 1560, como Carreira de San Giaon (o então nome do Forte de São Julião da Barra) e o canal sul por Carreira d' Alcacena. Nos séculos seguintes e, principalmente por via da atuação de estrangeiros sobre a cartografia na área de estudo, surgiram as designações Pequena Passagem ou Pequeno Canal e Grande Passagem ou Grande Canal (inclusive em idiomas estrangeiros). As designações Corredor ou Canal do Norte e Barra Grande ou Canal do Sul surgem nos mapas produzidos em Portugal na segunda metade do século XIX.

Outros resultados qualitativos retirados são:

- Os Bancos Norte e Sul, são referenciados em todos os mapas (ainda que, por vezes, apenas um deles), deduzindo-se estabilidade temporal da respetiva presença;
- Em 23 dos 32 mapas, os Canais estão identificados com nome e essa indicação é um elemento útil à navegação na foz do rio; os mapas de 1765 e 1811, 1857 e 1882, contêm alinhamentos de auxílio à navegação;
- Nos mapas analisados, o Cachopo do Sul está sempre separado da Praia (referida na Figura 4) exceto nos mapas de 1608b e 1779 (onde as representações se encontram ligadas); nos mapas de 1857 e 1882, surge a designação de “Gollada do Sul” (Canal);
- A representação mais diferente dos Bancos é a que consta nos mapas de 1608a, 1765 e 1779, onde os dois estão unidos num só corpo, aproximadamente em forma de “ferradura”, cuja convexidade está virada para o oceano e a respectiva concavidade virada para o rio (ver figuras no Anexo A).

No que respeita a dados semiquantitativos na área de estudo, abordam-se em seguida os resultados obtidos quanto às orientações dos elementos morfológicos na Foz do Rio Tejo (Figura 31), o cálculo das razões das áreas entre Bancos (Figura 32) e as profundidades médias dos 3 setores do Canal Sul (Figura 33).

Totalizam-se as orientações possíveis de determinar em vários mapas antigos e apresenta-se na Figura 31, os gráficos de totais de ocorrência de cada orientação encontrada. É evidente da análise da figura que o alinhamento Nordeste-Sudoeste é o dominante no Canal Sul, não sendo visível uma tendência óbvia para os restantes elementos morfológicos.

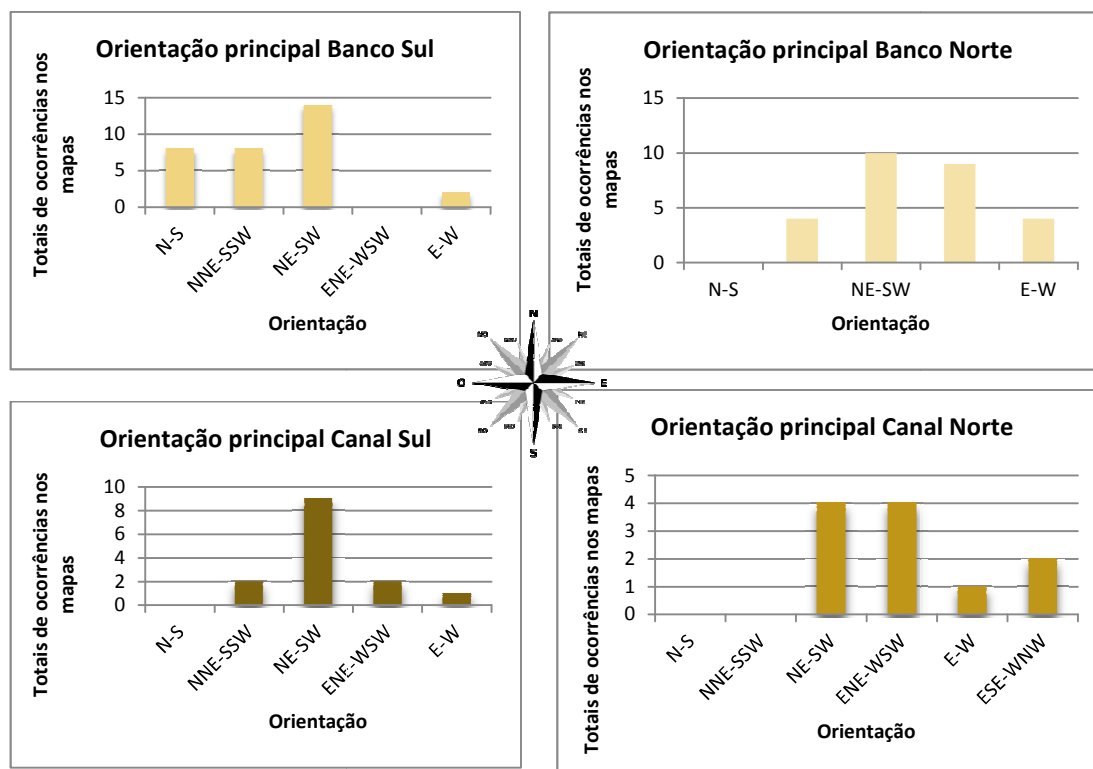


Figura 31 – Total das ocorrências de orientações aproximadas dos elementos morfológicos da Foz do Rio Tejo, nos mapas.

O cálculo da razão das áreas entre o Banco Norte e o Banco Sul, a 24 mapas possíveis e apresentado na Figura 32, foi possível para 24 dos mapas analisados (no mapa de 1608b o Banco Sul está ligado à Praia; nos mapas de 1608a, 1765 e 1779 os Bancos estão representados como um único corpo; nos mapas de 1820 e 1821, o Banco Sul não está completamente delimitado; como foi já referido; nos mapas de 1857 e 1882, os Bancos não estão individualizados). Esta razão assume valores superiores a um ou próximos de zero, quando a diferença de áreas entre os Bancos é muito grande. A razão aproxima-se de 0,5, quando a área do Banco Sul é aproximadamente o dobro do Banco Norte e aproxima-se de um quando as áreas são similares.

Nesta Figura, o valor atribuído à situação de referência (século XX), a cinzento, é apenas indicativo, dado os Bancos não se encontram delimitados na Carta Náutica analisada (IH, 2006) (foram delimitadas áreas nos locais assinalados, com base nas batimétricas de 10 m e 5 m). É ainda sinalizada ainda a média das razões das áreas para os mapas antigos = 0,58 (linha contínua vermelha).

Numa análise geral, em 16 dos 24 mapas a razão das áreas é inferior a 0,5 o que aponta para a área do Banco Sul ser maioritariamente representada nos mapas antigos como maior que a do Banco Norte.

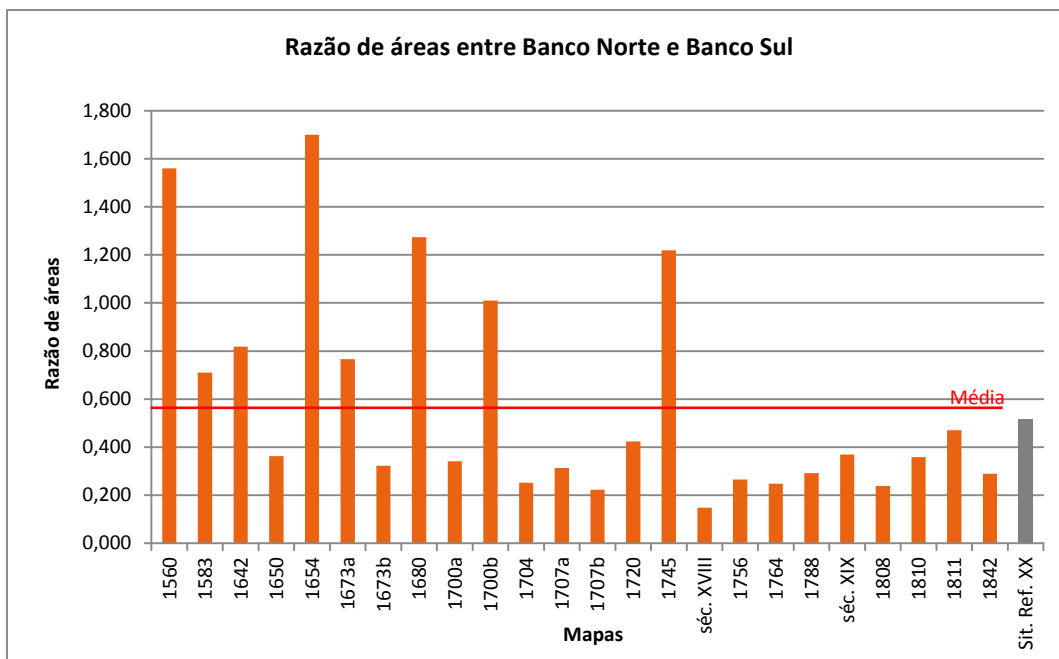


Figura 32 – Gráfico da razão das áreas entre o Banco Norte e o Banco Sul, nos mapas antigos.

A análise das profundidades do canal foi possível para 16 mapas sendo que os restantes não possuíam informação batimétrica ou o volume de dados exigia outro tipo de processamento que não a recolha visual. Para cada mapa, foi analisada a informação nele constante, bem como as referências bibliográficas ALEGRIA & DIAS, 2000 e GUERREIRO & GODINHO, 2005, que permitiram apontar para as unidades batimétricas potencialmente utilizadas (ver considerações no Anexo B.). Resumindo:

- foram consideradas as braças holandesas para os dados batimétricos constantes nos mapas 1583, 1650, 1673, 1680, 1700, 1700a.
- foram consideradas as braças francesas para os os dados batimétricos constantes nos mapas 1707, 1720, séc. XVIII, 1764, 1765, 1779.
- foram consideradas as braças espanholas para os os dados batimétricos constantes nos mapas 1788, séc. XIX, 1810, 1820.

A Figura 33 apresenta o respetivo gráfico das profundidades ao longo do canal principal em cada mapa antigo. Tal como anteriormente, os valores atribuídos à situação de referência (século XX), a cinzento, constituem apenas um exercício indicativo (por leitura pontual de valores do MDT respectivo, em cada segmento). Os valores históricos médios e os máximos/mínimos registados foram:

- 30 m no segmento Norte (valor mínimo de 27 m e máximo de 44 m),
- 26 m no segmento centro (valor mínimo de 18 m e máximo de 33 m),
- 20 m no segmento Sul (valor mínimo de 14 m e máximo de 31 m).

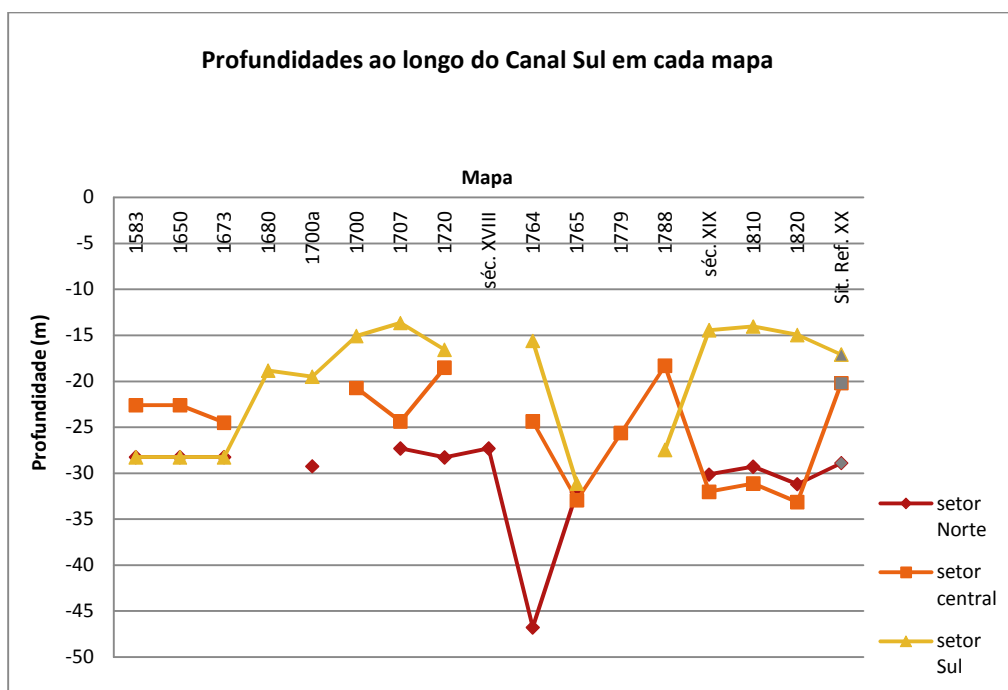


Figura 33 – Profundidade média em cada sector do Canal Sul, por mapa antigo.

5. CONCLUSÕES

Com o objetivo de contribuir para o conhecimento da evolução morfodinâmica da Foz do Rio Tejo, foram analisados os resultados reunidos no Capítulo 4., relativos à metodologia aplicada: análise espacial quantitativa de modelos digitais de profundidade para a área de estudo, a partir de mapas antigos. As conclusões que foram retiradas da análise são apresentadas neste capítulo. Por facilidade de exposição, são referidas tematicamente de acordo com a análise efetuada (seguindo a estrutura geral da tese): análise quantitativa (georreferenciação, vectorização, modelos digitais de terreno, *raster* das diferenças de profundidade) e qualitativa/semiquantitativa. As limitações do presente projeto e as propostas de trabalhos futuros finalizam este documento.

Na operação de georreferenciação é relevante a média do erro médio quadrático obtido, 2.168,96 m, o que revela bastante sobre o fraco ajuste conseguido para os mapas antigos, com excepção dos mapas de 1811, 1857 e 1882. Estes foram os únicos que cumpriram o critério de validação EMQ menor ou igual a 100 m, que corresponde à dimensão do *pixel* utilizado para o trabalho.

Observados os 6 mapas antigos que registam valores de erro médio quadrático superiores à média, conclui-se que são documentos que não têm “elementos exteriores” de referenciação geográfica (escala, indicação de latitudes e longitudes, unidades de medida, rosa dos ventos). Igualmente o desenho da linha de costa e dos acidentes topográficos é algo distante da realidade. Conclui-se que são mapas rudimentares e esquemáticos. De acordo com referências bibliográficas consultadas (ALEGRIA & DIAS, 2000; GUERREIRO & GODINHO, 2005; FREIRE, 1989), datas mais recentes beneficiaram de novas tecnologias de recolha e produção dos dados, nomeadamente, hidrográficos e cartográficos, surgindo mapas em escalas maiores, com mais rigor e constituindo fontes de dados mais seguras. Portanto, pode considerar-se que a grandeza do EMQ pode ser utilizada como um parâmetro de aferição da “qualidade” dos mapas históricos, independentemente da sua idade.

No que respeita aos conjuntos de pontos de controle utilizados nas georeferenciações é reconhecido que os mesmos não constituem grupos ideais, *i.e.*, não se distribuem homogénea e representativamente pela totalidade dos mapas a georreferenciar e, nem sempre, circunscrevem os elementos em estudos (gerando, em alguns casos, uma tendência de colinearidade que prejudica o sucesso da transformação aplicada) (ESRI, 2013b). No entanto, foi feito o esforço de atingir o melhor conjunto de pontos possível em cada mapa. Assim, os parâmetros escolhidos para esta operação (pág. 27) são adequados à metodologia seleccionada e aos mapas em estudo.

Assume-se uma forma de pensar padronizada relativamente à figura de um mapa e esta “limitação mental” para utilizar mapas não ortogonais (como os que resultam de alguns algoritmos de transformação, conforme ilustra a Figura 12), pode ter influenciado a escolha

do algoritmo nas operações de georeferenciação. Refere-se a este propósito, a importância da percepção cognitiva sobre as representações geográficas “Estes dois mundos, o mensurável e o compreendido, complementam-se em muitos aspetos: os avanços técnicos ao conduzirem a representações cada vez mais exatas e precisas das entidades e dos processos geográficos contribuem para um refinamento das representações mentais da realidade. Por outro lado, esses avanços tendem a ser estimulados e desafiados pelo surgimento de novos problemas, concepções e entendimentos da realidade que, gerados num quadro mental específico, surgem cobertos de ambiguidade, subjectividade e incerteza.” in PAINHO & CURVELO, 2011.

A análise dos gráficos dos desvios posicionais nos pontos de aferição da qualidade (resultantes das operações de georeferenciação nos diversos mapas antigos), permite concluir que:

- os desvios são, de modo geral, coerentes com os valores de EMQ encontrados em cada operação, *i.e.*, georeferenciações com elevados erros médios quadráticos apresentam maiores desvios posicionais;
- os pontos de aferição da qualidade situados na margem esquerda do rio Tejo registam, na maioria dos casos, desvios superiores aos encontrados na margem direita; considera-se que tal possa estar relacionado com a quase inexistência, nos mapas originais, de pontos de controle fiáveis na margem Sul.
- é relevante e evidente a diferença entre os mapas seleccionados para MDT do séc. XIX e os demais mapas, o que confirma a relação menor EMQ / maior qualidade dos mapas.

A vectorização dos dados de profundidades foi efectuada apenas para mapas de 1811 e 1857 e a respectiva comparação visual com a situação de referência ilustra, de modo geral, a manutenção da configuração morfológica da Foz do Rio Tejo (Canal Sul, Bancos Marginais, Canal Norte, Bugio, Praia) o que aponta para uma estabilidade ao longo destas datas. Exceptuam-se quatro zonas que revelam diferenças significativas – Praia na zona da Cova do Vapor, Banco do Bugio, Bico do Pato e na zona terminal do Canal Sul, no Oceano, que têm sido objecto de estudos diversos (Capítulo 3.2.1).

A análise dos MDT produzidos para os mapas oitocentistas (1811, 1857) e para a situação de referência (representando o século XX), confirma as principais conclusões da vectorização. O modelo digital de terreno de 1857 revela muitas similaridades com a situação de referência, consequência da estabilidade do sistema e da maior qualidade da sua representação geográfica relativamente a séculos anteriores. A profundidade máxima obtida em cada MDT é um valor interessante mas, porque é tomado apenas num único pixel, deve ser considerado como uma medida pouco expressiva, por si só. A indicação mais útil é a da média de profundidades em cada modelo (respectivamente, -14,76 m/1811, -12,32m/1857, -11,42 m/ST) – leitura que reflete a totalidade da área (principalmente

quando é associada a um baixo desvio padrão, como é o caso) e que parece indiciar uma tendência de diminuição das profundidades ao longo do tempo.

A partir do modelo digital de terreno, podem obter-se diversas informações interessantes sobre a forma do terreno modelado, sendo esta uma das mais valias da metodologia proposta para os mapas antigos em análise. A geração de perfis do terreno é uma dessas informações. Considerando a relevância que a morfologia do Canal Sul tem na AE, foram produzidos, os seus perfis longitudinais do fundo (pelo seu alinhamento principal de navegação, representado pelo segmento D na Figura 20) para as datas 1811 e 1857. Da comparação entre os 3 perfis de profundidade, é perceptível:

- Diminuição do valor máximo de profundidade atingido no Canal.
- Mudança de posição de onde esse valor ocorre e a alteração do próprio perfil, o que indica uma migração dos materiais sedimentares (por causas naturais ou artificiais).
- A visualização dos perfis do século XIX permite concluir de uma evolução positiva da qualidade dos MDT.

As conclusões da análise quantitativa efetuada aos documentos do século XIX finalizam-se com os *raster* de diferenças de profundidade. Os mapas 1811 e 1854 contêm a mesma tipologia de referência geográfica e características, pelo que são os adequados à aplicação desta metodologia. Os resultados da análise aos RDP de ST/1857, 1857/1811 e ST/1811, permitem concluir que a configuração morfológica do sistema na área de estudo é estável do século XIX à atualidade.

A análise do fundo rochoso incluída na situação de referência, poderia funcionar como elemento de confirmação da qualidade dos dados de batimetria, pela sua comparação com os *Raster* de Diferenças de Profundidade, por forma a determinar se são efectivas as alterações de profundidade (e portanto morfológicas) no fundo rochoso ou se a informação resulta da baixa qualidade dos dados. O exercício ilustrativo do fundo rochoso do mapa de 1857 confirma a maior qualidade dos dados deste mapa em relação ao mapa de 1811 e é coerente com os resultados obtidos no RDP ST/1857.

A análise dos dados qualitativos e semiquantitativos pode estender-se pelos séculos em estudo – XVI ao XIX, contrariamente à análise quantitativa, que se reduziu ao último século. As conclusões a que se chega nesta avaliação de resultados qualitativos e semiquantitativos, confirmam de modo geral, a estabilidade do sistema e a permanência dos elementos morfológicos da Foz do Rio Tejo, já identificados. Mais detalhadamente:

- Sendo as razões das áreas dos Bancos maioritariamente inferiores a 0,5, tal aponta para que a área do Cachopo Sul tenha sido maior que a do Cachopo Norte

ao longo dos séculos. Estas razões de áreas mantêm-se assim desde o terramoto de 1755.

- Verifica-se uma manutenção das configurações do Canal Sul e dos Bancos Marginais e a separação entre o Banco do Bugio e a Praia desde o século XVI (assume-se que corresponde ao Canal da Golada).
- As orientações NE-SW dos Bancos e do Canal Sul mantêm-se ao longo dos séculos, sendo a orientação do Canal Norte a que têm indicações mais diversificadas.
- A leitura do gráfico de evolução das profundidades do Canal Sul, revela um sinal persistente de diminuição da profundidade do setor Sul deste canal ao longo dos séculos, contrariamente ao seu setor Norte, que se mantêm consistentemente mais profundo.

Para finalizar, tecem-se algumas considerações finais. Tendo em mente os mapas analisados e a metodologia e parâmetros testados, pode considerar-se que:

- em mapas do séc. XVIII ou mais antigos, a metodologia quantitativa proposta não é adequada, dada a variação qualitativa da respectiva representação geográfica.
- em mapas do séc. XIX (cuja características intrínsecas não sejam aparentadas com características dos séculos anteriores), a metodologia quantitativa é adequada.

Estes últimos representam o volume de dados históricos onde a metodologia foi aplicada com sucesso, pelo que se tomam como adequadas as conclusões obtidas da mesma. Destas conclusões é evidente as noções de:

- a) estabilidade do sistema natural em presença na Foz do Rio Tejo,
- b) manutenção dos principais elementos morfológicos, na área de estudo,
- c) tendência de diminuição de profundidades observada ao longo do séc. XIX e no séc. XX, nos *raster* de diferenças de profundidade, que é interpretada neste trabalho como indiciando uma deposição de materiais sedimentares móveis/acreção, genericamente localizada ao longo do Canal Sul e no Banco do Bugio.

Adicionalmente, foi realizada uma breve análise qualitativa/semiquantitativa à totalidade dos mapas do projeto (séc. XVI ao XIX), sendo esta metodologia aplicável a todos os mapas. Os resultados e as conclusões obtidas permitem confirmar as noções genéricas (a., b., c.) a que se chegou para o século XIX e estendê-las a todo o intervalo temporal em estudo.

A presente tese constitui um trabalho de projeto pelo que o cariz empírico é relevante nos temas apresentados. A perspetiva temporalmente alargada agora abordada constitui uma contribuição prática e útil, na área de ordenamento do território e numa visão de longo prazo.

Em vez de uma consideração de sim ou não quanto à metodologia proposta, pode ser ponderada como hipótese alternativa, uma tipologia de análise a aplicar consoante a evolução técnica e temporal dos mapas e, determinar posteriormente quais as ferramentas SIG que se revelem apropriadas para analisar os mapas históricos. Considera-se que o tipo de análise é condicionado pela fiabilidade dos dados base e estes condicionados pelas metodologias e técnicas de cada época, pelo que a natureza da análise se deve modificar com o tempo: de semiquantitativa e a quantitativa, em paralelo com a qualitativa, desde o século XVI ao XIX (Figura 34). Em ambas, o recurso a dados base acessórios é relevante para diminuir as incertezas e aumentar a confiança nos resultados a obter.

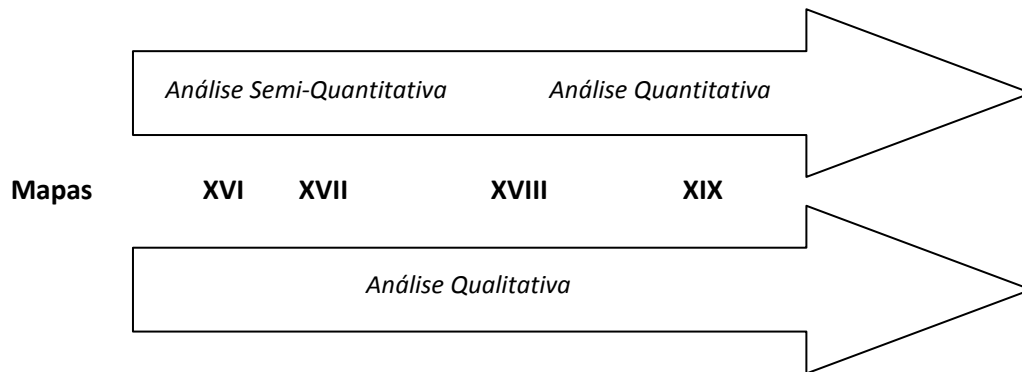


Figura 34 – Proposta de evolução temporal da análise a realizar em mapas antigos, para contributo de informação sobre a evolução da morfodinâmica da foz do rio Tejo.

Apesar da hipótese de tese não ter sido validada positivamente, dado que as ferramentas SIG aportam apenas a qualidade que os dados base transmitem, entende-se que este exercício não é dispiciante de utilidade pois demonstra que há vantagem no recurso a esta tecnologia nestas temáticas e nestes suportes e permite retirar dos dados antigos, mais e diferentes informações, não discerníveis de imediato nos dados base.

É legítimo fazer uma extrapolação global da conclusão deste trabalho e questionar sobre a fiabilidade de obtenção de informação puramente quantitativa, por via SIG, de outros mapas antigos. Considera-se que poderá ser a análise atenta dos dados base, devidamente enquadrada no espaço e no tempo de cada mapa e convenientemente suportada por informação adicional adequada, que permite, ao interveniente humano, a decisão de utilização de dados constantes em mapas antigos e qual a ponderação a atribuir a esses dados.

5.1 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

As principais limitações identificadas neste trabalho são as seguintes:

- a) Conjunto limitado de mapas e variabilidade da qualidade da representação cartográfica ao longo dos séculos.

- b) A consideração de cada mapa constituir um “retrato” estático de uma determinada realidade morfológica que é dinâmica ao longo do tempo e sem contemplar, na série temporal em análise, eventos significativos que possam, à escala macroscópica, induzir alterações ao sistema.
- c) A assumpção relativa à fiabilidade dos dados de profundidade históricos e as considerações sobre as unidades batimétricas atribuídas a cada mapa.
- d) O recurso a conjuntos de dados geográficos (de batimetria) públicos e de acesso livre e gratuito sem ter sido realizada a adequada aferição de qualidade.
- e) O condicionamento da distribuição e qualidade dos pontos de controle e o erro médio quadrático admitido nas operações de georreferenciação.
- f) Assumir a integração, na dimensão do *pixel*, dos diversos erros não quantificados e propagados ao longo dos métodos.
- g) A baixa densidade de pontos batimétricos provoca uma forte dependência do TIN desses poucos pontos e condiciona a qualidade da superfície modelada.
- h) O desigual intervalo temporal dos *Raster* de Diferenças de Profundidade produzidos (50 anos, 100 anos, 150 anos) que pode condicionar a comparação; a definição da “tolerância de medição” que condiciona a análise dos RDP.
- i) Por constrangimentos práticos não foram integradas, neste estudo, outras fontes de dados (históricos, litológicos, cartográficos, etc.); a informação adicional que contribuiu para este trabalho resume-se à bibliografia consultada.

A partir dos dados já recolhidos, será ainda possível realizar outras análises sobre os MDT do século XIX:

- Comparar a evolução das profundidades do canal em perfis transversais ao seu eixo, em cada zona do mesmo (extremo Norte e Sul e zona central do Canal).
- Testar o comportamento doutros algoritmos de transformação na georreferenciação com outros conjuntos de pontos de controle.
- Aprofundar a comparação entre os MDT gerados com outros produzidos por interpoladores diferentes (validação cruzada).
- Avaliar as alterações dos declives na área de estudo, com destaque para os principais elementos morfológicos.
- Calcular os volumes envolvidos nas alterações morfológicas verificadas.
- Avaliação quantitativa da extensão das incertezas (nos materiais fonte, na cartometria, na topografia do relevo e nos *raster* de diferenças de profundidade) e análise do erro previsto no processamento (JAMES *et al.*, 2012).

São abaixo listados, alguns trabalhos futuros considerados de interesse para a problemática deste estudo:

- Alargar o âmbito temporal da análise incluindo mapas do séc. XV e XX.
- Diminuir o tamanho do *pixel* a fim de refinar a exigência posicional para o século XIX e/ou para mapas que se venham a revelar adequados.
- Verificar a manutenção, ou não, de parâmetros analisados com análise semiquantitativa, noutros mapas (ex: valor da razão das áreas entre Cachopos).
- Integração da informação da tipologia do fundo rochoso como elemento de controle de qualidade na metodologia de MDT batimétricos históricos.
- Analisar os vários aspetos da evolução cartográfica e conhecimento geográfico dos últimos séculos (por exemplo, o datum vertical e a subida do nível do mar) para determinar a sua influência nos resultados desta metodologia.
- Incluir a análise do *tsunami* de 1755 como contributo para a morfodinâmica da barra do Tejo, nomeadamente na profundidade do Canal Sul e na orientação cardeal dos elementos morfológicos. Em FREITAS *et al.*, 2010, são referidos outros eventos com consideráveis impactos no estuário de Tejo e cujos contributos para a referida dinâmica podem ser integrados: 1531, 1756, 1761.
- Alargar o conjunto base de mapas a outras fontes de dados, nomeadamente, *Portugaliae Monumenta Cartographica* e *Imago Mundi*.
- Compilação cronológica de intervenções antrópicas na Foz do Rio Tejo desde o século XV à atualidade, a fim de aferir da coincidência ou não destas intervenções com registos de alteração de profundidades e/ou modificações morfológicas.

BIBLIOGRAFIA

- AHM, 1608, *Coleção de mapas e plantas de cidades, vilas, fortalezas de Portugal e também da Índia, África, Ásia* [Cota 3ª. Div. 47ª Sec. Nº 18756 AP2, Arquivo Histórico Militar].
- ALEGRIA, M. e DIAS, M., 2000, Quatro séculos de imagens do litoral português: a região de Lisboa na cartografia náutica nacional e estrangeira. *STUDIA*, 56/57: p. 61-96.
- ALMEIDA, R. E., 1808, *Carta Militar das Principais Estradas de Portugal* [Cota CC 554 R2, Biblioteca Nacional de Portugal].
- ALVES GASPAS, J., 2008, *Dicionário de Ciências Cartográficas*. (2ª ed.) (Lidel).
- ALVES GASPAS, J., 2010, *From the Portolan Chart of the Mediterranean to the Latitude Chart of the Atlantic. Cartometric Analysis and Modeling*. Dissertação submetida para cumprimento parcial dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Gestão de Informação: Sistemas de Informação Geográfica. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- ALVES GASPAS, J., 2011, *Ciências Cartográficas*. [Unidade curricular] Mestrado em Ciência & Sistemas de Informação Geográfica, ebook NOVAeLearning, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa (não publicado).
- APL, 2008, Página da *Administração Porto de Lisboa*, (URL: http://www.portode lisboa.pt/portal/page/portal/PORTAL_PORTO_LISBOA, consultado em 17/11/14).
- ARCGIS, 2014, *ArcGis Resources, Help 10.1, Managing elevation data: Part 1: About elevation data* (URL: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/009t0000023w000000>, consultado em 10/02/2015).
- BALDAQUE DA SILVA, A. A., 1893, *Estudo historico hydrographico sobre a barra e o porto de Lisboa, Tomo I e Tomo II (Atlas)* [Cota PL 1 133/1, /2, Administração Porto de Lisboa: Imprensa Nacional, 1990; edição fac-similada]. *Estudo historico hydrographico sobre a barra e o porto de Lisboa, Tomo II (Atlas)* [Cota CA 118 A, Biblioteca Nacional de Portugal].
- BONHAM-CARTER, G., 1994, *Geographic Information Systems for Geoscientists*. (Pergamon).
- CARVALHO, E., 2013, *Estudo da evolução morfodinâmica das barras do Tejo*, Univ. de Perpignan, Via Domitia. Fac. des Sciences. Master Géosciences Marines et Environ. Aquatiques 2ème année. Mém.
- CAOP, 2014, Página da *Direção Geral do Território (DGT)* (URL: http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/carta_administrativa_oficial_de_portugal_caop/_caop_em_vigor/, consultado em 17/11/14).

- CABRAL, P., 2011, *Modelação em SIG*. [Unidade Curricular] Mestrado em Ciência & Sistemas de Informação Geográfica, *ebook* NOVAeLearning, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa (não publicado).
- CABRAL, P., 2015, *Análise Espacial em Sistemas de Informação Geográfica* [Módulo 2]. TecGEO – MOOC de Ciência & Sistemas de Informação Geográfica, *ebook* NOVA IMS, Universidade Nova de Lisboa (não publicado).
- CIGeoE, Carta Militar de Portugal – série M888, escala 1:25.000, (Centro de Informação Geoespacial do Exército).
- CHERQUES, S., 1999, *Dicionário do Mar* (São Paulo: Editora Globo).
- DIAS, M., CAUVIN, C. e ALEGRIA, M., 2000, Comparação de configurações cartográficas através da regressão bidimensional. *FINISTERRA*, XXXV, 69: p. 95-107.
- EMODnet, 2012, Página da *European Marine Observation and Data Network* (EMODnet) (URL: <http://www.emodnet.eu/>, consulta em 07/04/2015).
- ESRI, 2013a, ArcGis 10.2 for Desktop [Software do Environmental Systems Research Institute (ESRI)], (URL: <http://www.esri.com/>, consultado em 3/2/2015).
- ESRI, 2013b, *Georeferencing rasters in Arcgis* (URL: http://training.esri.com/Courses/wc_GeoRefRasters/player.cfm?c=148, consultado em 17/9/2015).
- FERREIRA LEMOS, P. A., 197?, *Estuário do Tejo*. (Administração Geral do Porto de Lisboa).
- FLORES, A. M., 1987, *Almada antiga e moderna. Roteiro iconográfico. Vol. II – freguesia Cacilhas. Vol. III – freguesia Cova da Piedade* (Câmara Municipal de Almada).
- FLORES, A. M., 1992, *Foral de Almada 1190* (Câmara Municipal de Almada).
- FRANZINI, M. M., 1811, *Plano Que comprehende huma parte do Rio Tejo e a Barra de Lisboa com as suas Costas adjacentes, desde C.^{bo} da Roca athé á extremidade Oriental da mesma Cidade*, Escala 1:130.000 (URL: <http://purl.pt/25637>, [Cota C. C. 816/2V, Biblioteca Nacional de Portugal], consultado em 25/09/2015).
- FREIRE, P., 1989, A Planície Litoral entre a Trafaria e a Lagoa de Albufeira. *Coleção Estudos*, 3. Serviço Nacional de Parques, Reservas e Conservação da Natureza.
- FREITAS, C., ANDRADE, C. e SILVA, T., 2010, *Caracterização de eventos holocénicos de alta energia no estuário do Tejo*. Relatório IE19: Recorrência de *tsunamis* no estuário do Tejo. Avaliação de Riscos Naturais e Tecnológicos na Cidade de Lisboa, (URL: http://lxrisk.cm-lisboa.pt/eventos_holocenicicos.html, consulta em 05/11/2015).
- GALVÃO, J. C., 1971, A Bacia dos Rios Tejo e Sado numa Gravura Francesa do Século XVIII, *Arquivos do Centro Cultural Português* (Vol. III), F.C.G. Paris [Cota 1 Pg 3, Biblioteca Central da Marinha].

- GEBCO, 2014, Página da *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO) (URL: <http://www.gebco.net/>, consulta em 07/04/2015).
- GIRALDES, J. C., séc. XIX, *Mappa Geographico do Reino de Portugal* [Cota CA 299 A, Biblioteca Nacional de Portugal].
- GUERREIRO, R. e GODINHO, S., 2005, Sobrevalorização da Cartografia Náutica Antiga. *Anais do Instituto Hidrográfico*, 18 (2005-2006), 9-24.
- GOOGLE EARTH, 2013, [Software da Google, Inc.], (URL: <http://www.google.com/earth/download/ge/agree.html>, consultado em 13/10/2015).
- IHRU, 2014, Página do *Instituto da Habitação e Reabilitação Urbana*, SIPA (URL: http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SitePageContents.aspx?id=08a335ea-db85-4fdd-862b-fe6e623e44a8, consulta em 09-04-2015).
- IA, 2001, *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo*. Instituto da Água, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2001.
- IGP, 2005, *Carta de Portugal Continental*, Escala 1:500.000, Instituto Geográfico Português.
- IH, 2006, *Cabo da Roca ao Cabo Espichel*. Escala 1:150.000 [Instituto Hidrográfico, Marinha, Ministério da Defesa Nacional] (Carta da Série Recreio. Oceano Atlântico Norte. Portugal. Portugal Continental – Costa Oeste. 25R07, 2ª edição).
- IH, 2009, Página do *Instituto Hidrográfico* (URL: <http://www.hidrografico.pt/download-gratuito.php>, [Modelo Batimétrico Costa da Caparica (resolução espacial – 100 m)], descarregado em 07/04/2015).
- IH, 2011, Página do *Instituto Hidrográfico* (URL: <http://www.hidrografico.pt/download-gratuito.php>, [Modelo Batimétrico Rio Tejo (resolução espacial – 100 m)], descarregado em 07/04/2015).
- IH, 2015, Página do *Instituto da Hidrográfico* (URL: <http://www.hidrografico.pt/>, consulta em 07/04/2015).
- JAMES, L., HODGSON, M., GHOSHAL, S. e LATIOLAIS, M., 2012, Geomorphic change detection using historic maps and DEM differencing: the temporal dimension of geospatial analysis. *Geomorphology*, 137: p. 181-198.
- KEULEN, J., 1700, *Nueva Carta Maritima de las Costas de Portugal* [Cota CC 100 R, Biblioteca Nacional de Portugal].
- LIRA, C. e TABORDA, R., 2014, Advances in Applied Remote Sensing to Coastal Environments Using Free Satellite Imagery [Chapter 4] in *Remote Sensing and Modeling: Advances in Coastal and Marine Resources*, editado por FINKL, C. & MAKOWSKI, E. (Springer), pp77-102.

- MARTINS, J., 1995, *Roteiro das Barras de Lisboa e do Rio Tejo até Valada*. (2ª edição).
- MATOS, J., 2001, *Fundamentos de Informação Geográfica*. (6ª edição) (Lidel).
- MOTA OLIVEIRA, I., 1992, Port of Lisbon. Improvement of the access conditions through the Tagus estuary entrance, *23rd International Conference on Coastal Engineering*, Veneza.
- NERY, F., 2009, *Análise de Conjuntos de Dados Geográficos de Suporte à Modelação Ecológica da Distribuição de Espécies*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia do Território, Instituto Superior Técnico / Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- NEVES, N., 2011, *Dados Espaciais: Modelos e Operações*. [Unidade Curricular] Mestrado em Ciência & Sistemas de Informação Geográfica, *ebook* NOVAeLearning, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa (não publicado).
- PAINHO, M. e CURVELO, P., 2011, *Ciência e Sistemas de Informação Geográfica*. [Unidade Curricular] Mestrado em Ciência & Sistemas de Informação Geográfica, *ebook* NOVAeLearning, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa (não publicado).
- PAIS, J., MONIZ, C., CABRAL, J., CARDOSO, J., LEGOINHA, P., MACHADO, S., MORAIS, M., LOURENÇO, C., RIBEIRO, M., HENRIQUES, P. e FALÉ, P., 2006, [Notícia Explicativa da Folha 34-D (Lisboa)], Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50.000, Departamento de Geologia / Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, 2ª edição, Lisboa.
- PATRÍCIO, 1842, *Mappa da Vizinhanças de Lisboa* [Cota CC-1070-r, Biblioteca Nacional de Portugal].
- PIMENTEL, L. S., 1673, *Pratica da Arte de Navegar* [Cota SA 12870 V, Biblioteca Nacional de Portugal].
- ROBYN, J., 1700, *Nieuwe Pascaert van Portugaal* [Cota CC 171 A, Biblioteca Nacional de Portugal].
- SGP, 1992, *Carta Geológica de Portugal*, escala 1:500.000 [Folha Sul], Serviços Geológicos de Portugal.
- SILVA, F. M. P., BATALHA, C. M. e VASCONCELLOS, C. F. B., 1857, *Plano Hydrographico da Barra do Porto de Lisboa*, Escala 1:20.000 (URL: <http://purl.pt/16765>, [Cota C. C. 82 R., Biblioteca Nacional de Portugal], consultado em 23/10/2015).
- SILVA, F. M. P., BATALHA, C. M. e VASCONCELLOS, C. F. B., 1882, *Plano Hydrographico desde Cabo da Roca até Cezimbra* [Cota C 269 C, Arquivo e Biblioteca do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações].

- SIPA, 2011, *Atlas SIPA de Património – Faróis*. Relatório do Instituto da Habitação e Reabilitação Urbana, 2011, versão 1.0 (URL: http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPASearch.aspx?id=0c69a68c-2a18-4788-9300-11ff2619a4d2, consultado em 18/11/2015).
- TABORDA, R. e ANDRADE, C., 2014, Morfodinâmica do estuário exterior do Tejo e intervenção na região da Caparica – v1, Anexo I/Documento de Trabalho, incluído no Relatório do Grupo de Trabalho do Litoral *Gestão da Zona Costeira: o Desafio da Mudança*, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, (URL: http://www.apambiente.pt/zdata/DESTAQUES/2015/GTL_Relatorio%20Final_20150416.pdf, consultado a 11/11/2015).
- VELOSO-GOMES, F., COSTA, J., RODRIGUES, A., TAVEIRA-PINTO, F., PAIS-BARBOSA, J. e NEVES, L., 2009, Costa da Caparica Artificial Sand Nourishment and Coastal Dynamics. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 56, p. 678-682 (URL: http://www.cerf-jcr.org/images/stories/678.682_F.Veloso-Gomes_IC2009.pdf, consultado a 17/11/2015).

ANEXO A – Mapas Antigos Seleccionados

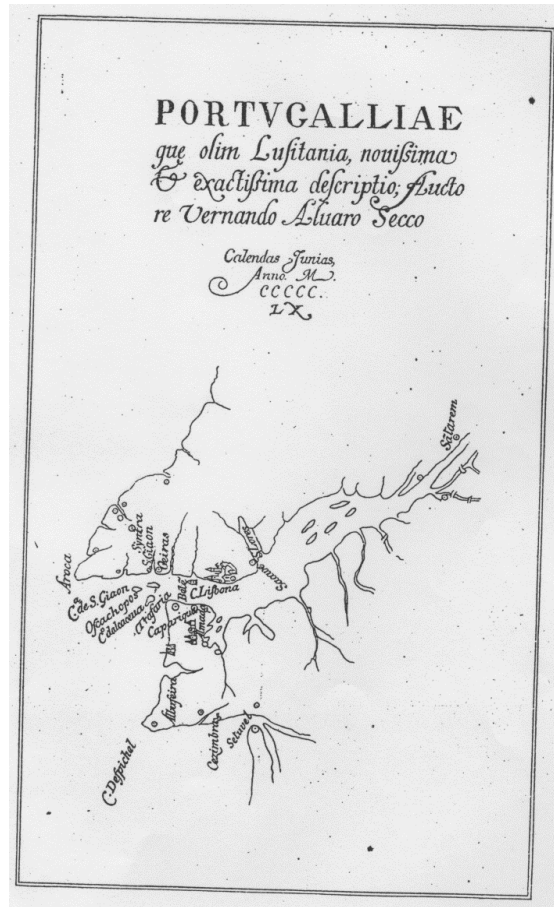
A lista abaixo apresentada resume a informação bibliográfica dos 32 mapas seleccionados para este estudo (ordenados por data). No final, reproduzem-se as digitalizações das fotocópias respetivas que serviram de base ao presente trabalho.

DATA	DESIGNAÇÃO	CONSULTA	COTA	AUTOR	EDITOR/ANO
1560	Portugalliae que Olim Lusitania	Biblioteca Nacional de Portugal (BNP) / Administração Porto de Lisboa (APL)	CA 118 A / PL 1 133	Vernando Alvaro Secco	A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A. Baldaque da Silva, 1893
1583	Charte Maritima Portogallo	C. M. Seixal – Ecomuseu (CMS)	PFN 239		Estuário do Tejo. Por Paulo Augusto Ferreira Lemos. Administração Geral do Porto de Lisboa, 197?.
1608 (xviii, b)	3 Mapas com a Descrição do Rio de Lisboa.	Arquivo Histórico Militar (AHM)	3ª. Div. 47ª Sec. Nº18756 AP2		Coleção de mapas e plantas de cidades, vilas, fortalezas de Portugal e também da Índia, África, Ásia
1642	Regimento de Pilotos/ Lisboa e o seu Porto	BNP / APL	CA 118 A / PL 1 133	António Mariz Carneiro	A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A. Baldaque da Silva, 1893
1650	Carta particolare del Oceano qui comincia con il Capo S. Vicentio é Finisce con il Capo Roxo in Portogallo	BNP / APL	CA 118 A / PL 1 133		A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A. Baldaque da Silva, 1893
1654	Parte Meridional do Reyno de Portugal	BNP / APL	CA 118 A / PL 1 133	N. Sanson D'Abeville	A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A. Baldaque da Silva, 1893
1673 (xviii)	Códice "Prática da Arte de Navegar"/ Estampa VII - cidade de Lisboa e Cascais	BNP	SA 12870 V	Luis Serrão Pimentel	
1673 (xviii)	Die Gegend von Lisabon	CMS			Foral de Almada, 1190. Por Alexandre M. Flores. Câmara Municipal de Almada, 1992
1680	Pafcaert Van de Kuft Van Portugal/ Van C. De Finisterre tot aen C. S. Vicent	BNP / APL	CA 118 A / PL 1 133	Joannis Van Keulen	A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A. Baldaque da Silva, 1893
séc. XVIII	Bacia dos rios Tejo e Sado	Biblioteca Central da Marinha (BCM)	1 Pg 3		A bacia dos rios Tejo e Sado numa gravura francesa do séc. XVIII. Por José Carlos Galvão. Arquivos do Centro Cultural Português. Vol. III. F.C.G. Paris, 1971

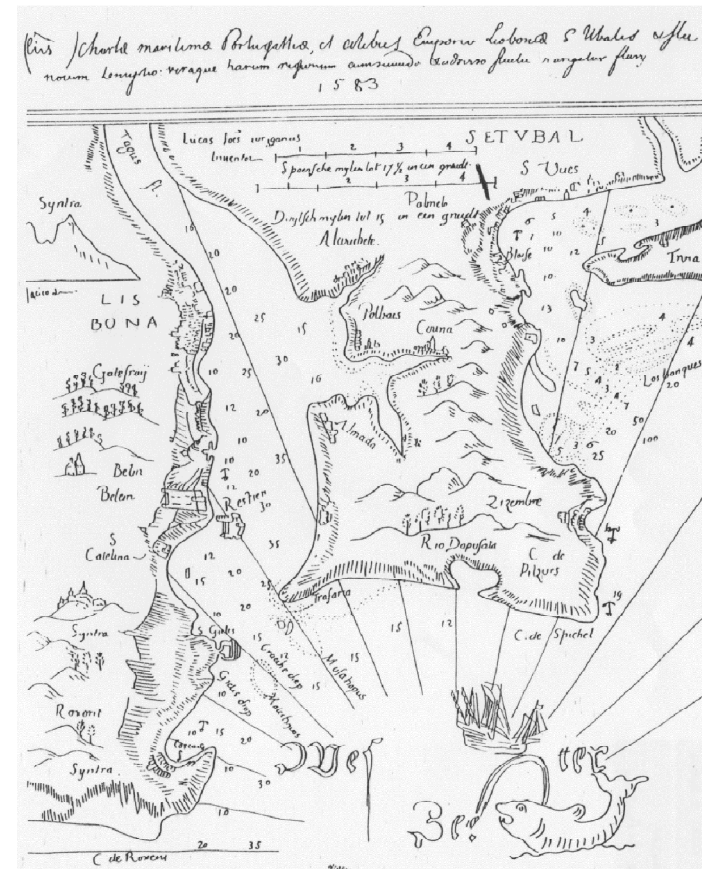
1700 (xviii1)	Nueva Carta Maritima de las Costas de Portugal	BNP	CC 100 R	Joannes Van Keulen	
1700 (xviii a)	Nieuwe Pafcaert Van Portugal Van C. De Finisterre tot aen C. S. Vicent	BNP	CC 171 A	J. Robyn	
1704	Le Portugal et ses Frontières levée sur les Lieux Povourie de Philippe IV Roy d'Espagne	BNP / APL	CA 118 A / PL 1 133	Gaspar Bailien	A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A. Baldaque da Silva, 1893
1707 (xviii2)	Les ports de Lisbonne, Setuval et leurs environ	BNP / APL	CA 118 A / PL 1 133	C. Inselin	A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A. Baldaque da Silva, 1893
1707 (xviii c)	Le Portugal Dedié au Roy	BNP / APL	CA 118 A / PL 1 133	P. Placide Augustin	A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A. Baldaque da Silva, 1893
1720	Les Cotes de Portugal et Barbarie	BNP / APL	CA 118 A / PL 1 133	Michelot et bremond	A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A. Baldaque da Silva, 1893
1745	Estuário do Tejo/ Embouchure de la riviere du Tage	CMS		N. De fer (geographe de sa Magesté Catholique)	Almada antiga e moderna. Roteiro iconográfico. Vol.II (freguesia cacilhas) vol. III (freguesia cova da piedade). Por Alexandre M. Flores. C.M.Almada, 1987
1756	Plan du port de Lisbonne/ Petit Atlas Maritime	BNP / APL	CA 118 A / PL 1 133	M. Belin	A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A. Baldaque da Silva, 1893
1764	A new and correct chart of the coast of Portugal	BNP / APL	CA 118 A / PL 1 133	J. Giacomo Alagna Of Mefsina	A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A. Baldaque da Silva, 1893
1765	Mapa da Barra de Lisboa e do seu rio Tejo	BNP / APL	CA 118 A / PL 1 133	W. Burgis	A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A. Baldaque da Silva, 1893
1779	A Chart of the Coast of Spain and Portugal wit the Balearic Islands	BNP / APL	CA 118 A / PL 1 133	L. De la Rochett	A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A. Baldaque da Silva, 1893
1788	Carta Esférica	BNP / APL	CA 118 A / PL 1 133	D. Vicente Tofiño	A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A. Baldaque da Silva, 1893
séc. XIX	Mapa Geográfico do Reino de Portugal	BNP	CC 299 A	Joaquim P. Casado Giraldes	
1808	Carta Militar da principais estradas de Portugal	BNP	CC 554 R2	Romão Eloy de Almeida	
1810	The kingdoms of Portugal and Algarve	BNP / APL	CA 118 A / PL 1 133	Lodge	A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A.

					Baldaque da Silva, 1893
1811	Plano que compreende uma parte do rio Tejo e a barra de Lisboa/ Roteiro das costas de Portugal	BNP	CC 816 2V	Marino Miguel Franzini	
1820	Statistica Historico Geographica do Reino de Portugal	BNP / APL	CA 118 A / PL 1 133	J. P. Casado Giraldes	A Barra e o Porto de Lisboa, Tomo I e II(Atlas). Por A. A. Baldaque da Silva, 1893
1821	Barra do Tejo em 1821	CMS		Guerín de Lamotte	Almada antiga e moderna. Roteiro iconográfico. Vol.II (freguesia cacilhas) vol. III (freguesia cova da piedade). Por Alexandre M. Flores. C.M.Almada, 1987
1842	Mapa das vizinhanças de Lisboa	BNP	CC-1070-R	Patrício	
1857	Plano Hidrográfico da Barra do Porto de Lisboa	BNP	CC-996-r	FMP Silva, CM Batalha, CB Vasconcellos	
1882	Plano Hidrográfico desde o Cabo da Roca até Cezimbra	Arquivo e Biblioteca do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações (ABMOPTC)	C 269 C	FMP Silva, CM Batalha, CB Vasconcellos	

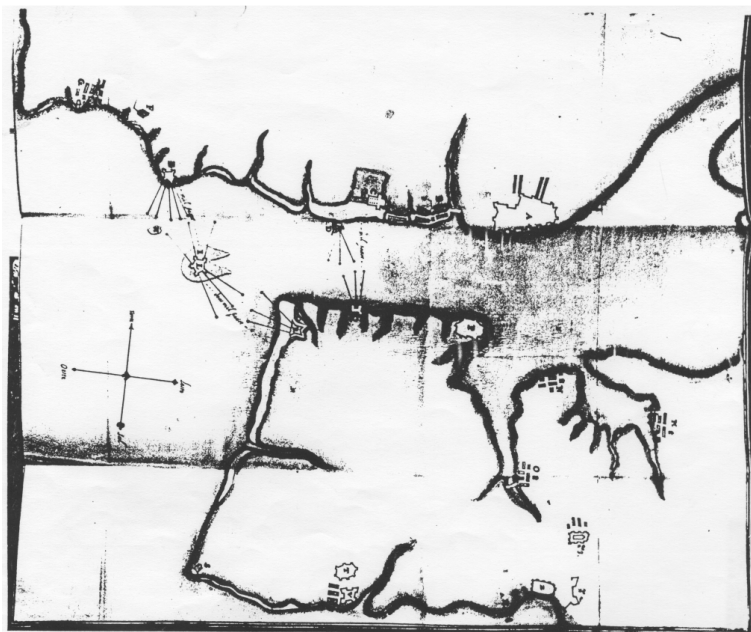
1560_32_portugalliae que olim lusitania novissima e exactissima
descriptio.TIF
(SECCO in BALDAQUE DA SILVA, 1893)



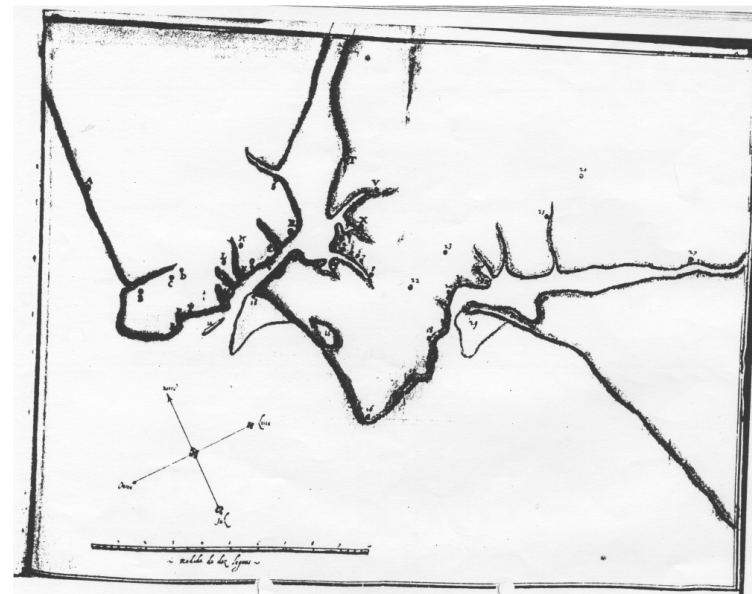
1583_32_charte maritime.TIF
(in FERREIRA LEMOS, 197?)



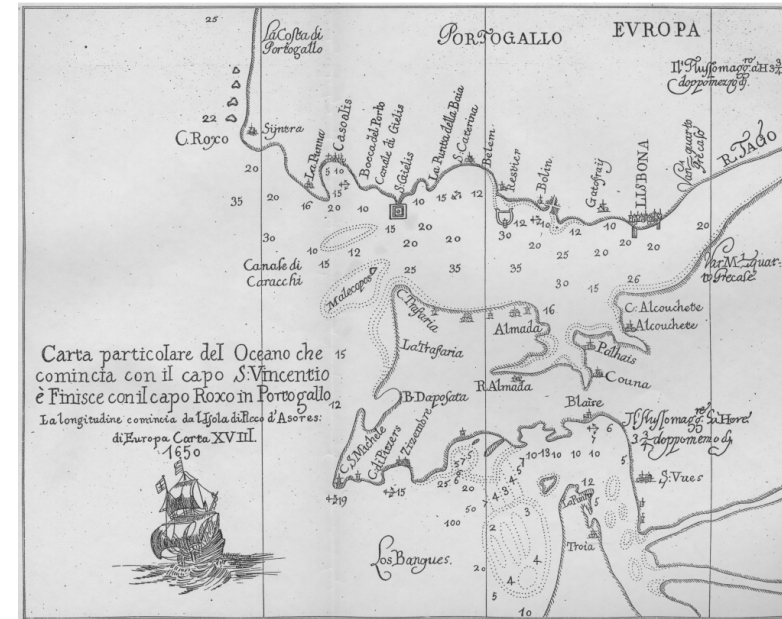
1608_1_colecao de mapas e plantas de cidades.TIF
(in AHM, 1608)



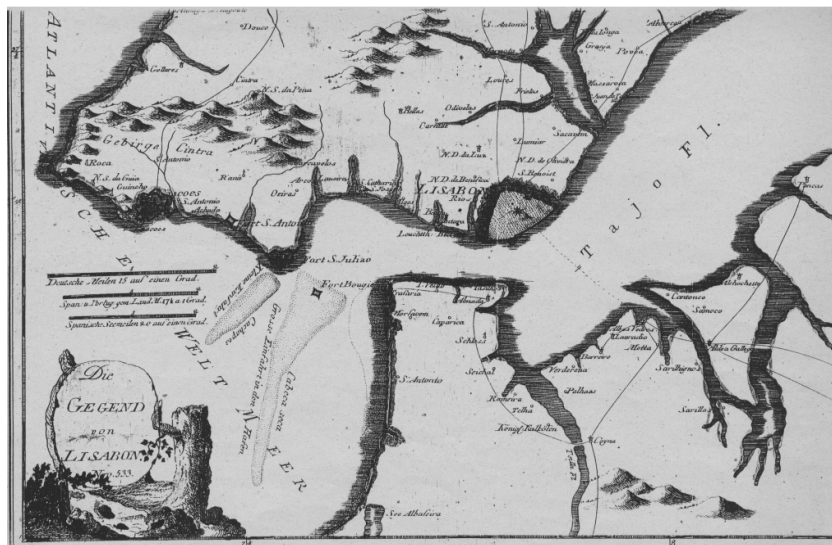
1608_2_colecao de mapas e plantas de cidades.TIF
(in AHM, 1608)



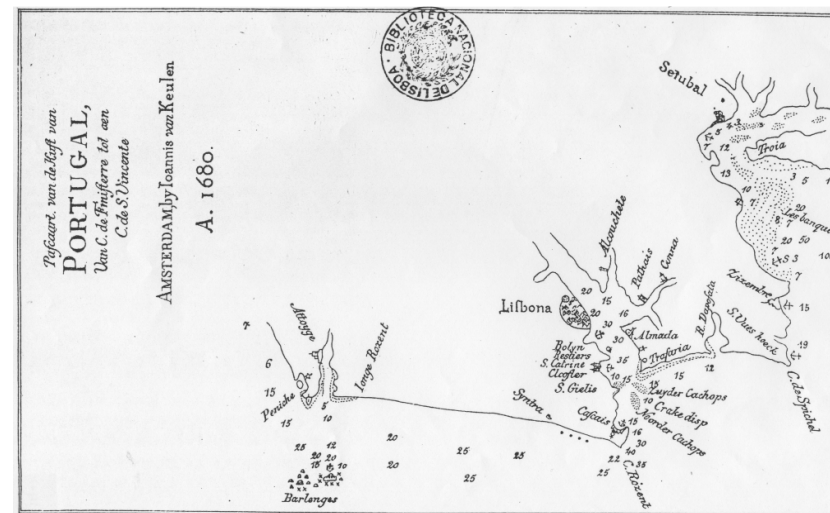
1650_carta particolare del oceano.TIF
(in BALDAQUE DA SILVA, 1893)



1673_45_foral de almada.TIF
(in FLORES, 1992)



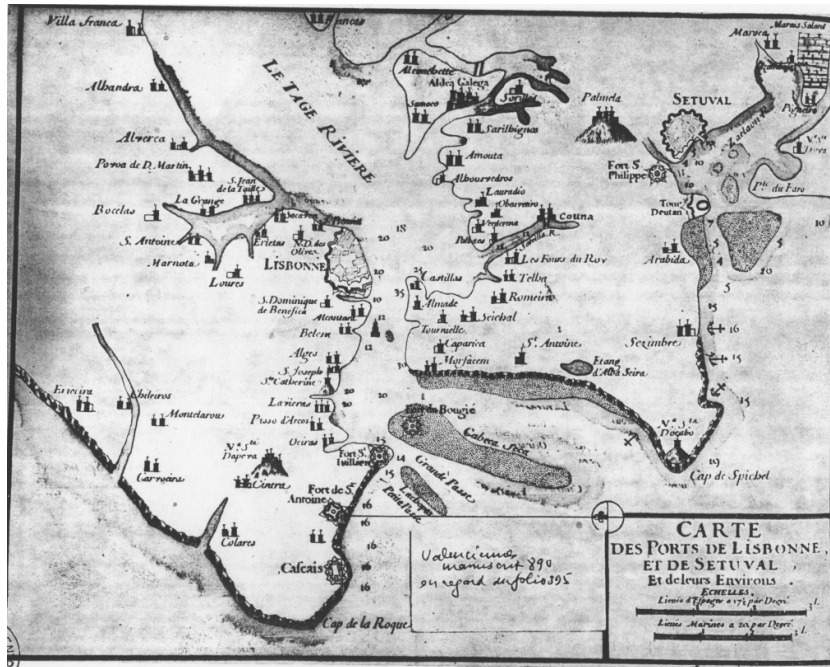
1680_23_pafkaart van de kuft van portugal.TIF
KEULEN in BALDAQUE DA SILVA, 1893)



17--_7_a bacia dos rios tejo e sado numa gravura francesa do sec

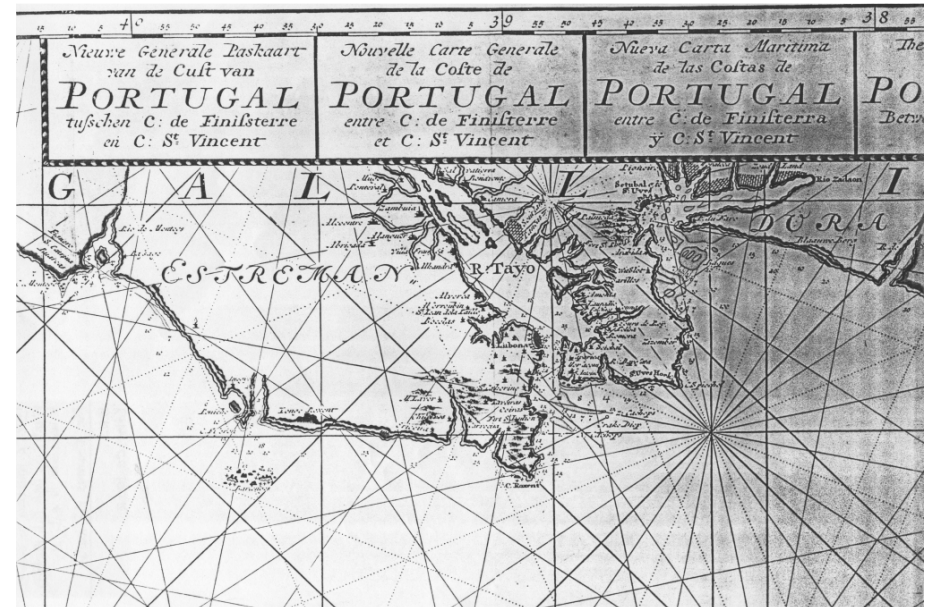
18.TIF

(in GALVÃO, 1971)

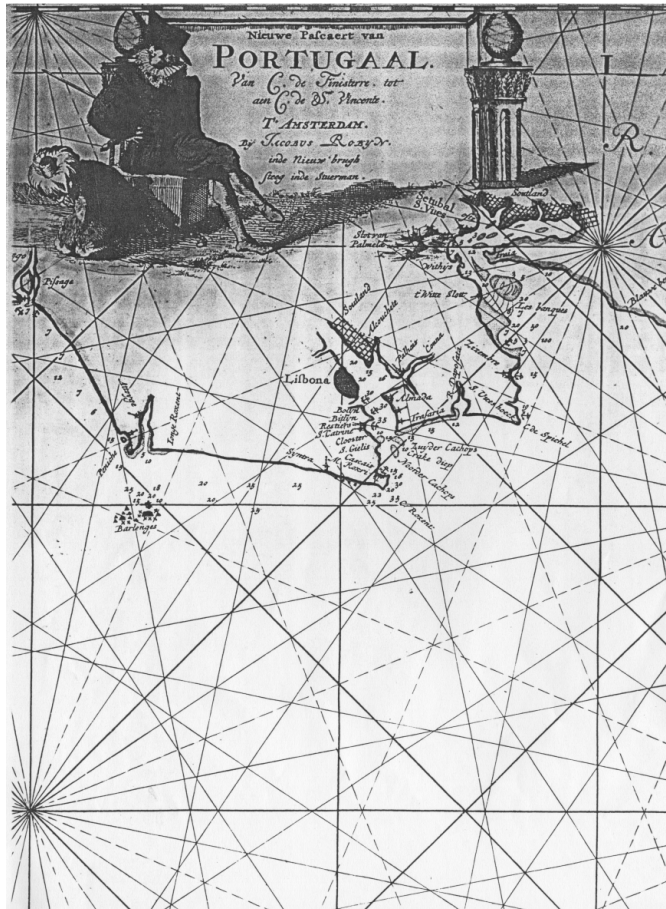


1700_19_una nueva carta maritima de las costas de portugal.TIF

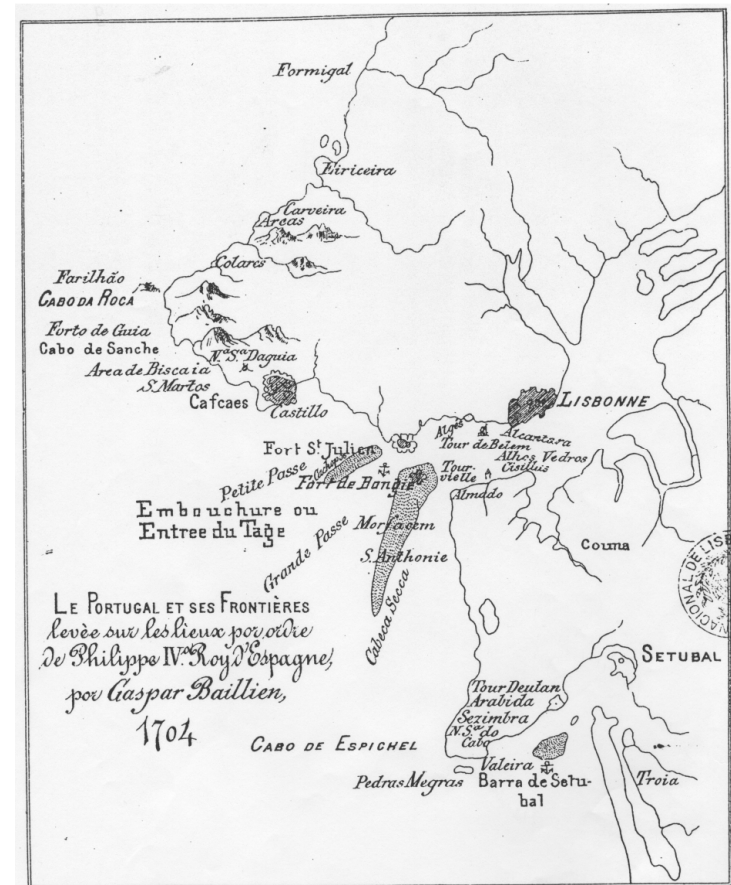
(KEULEN, 1700)



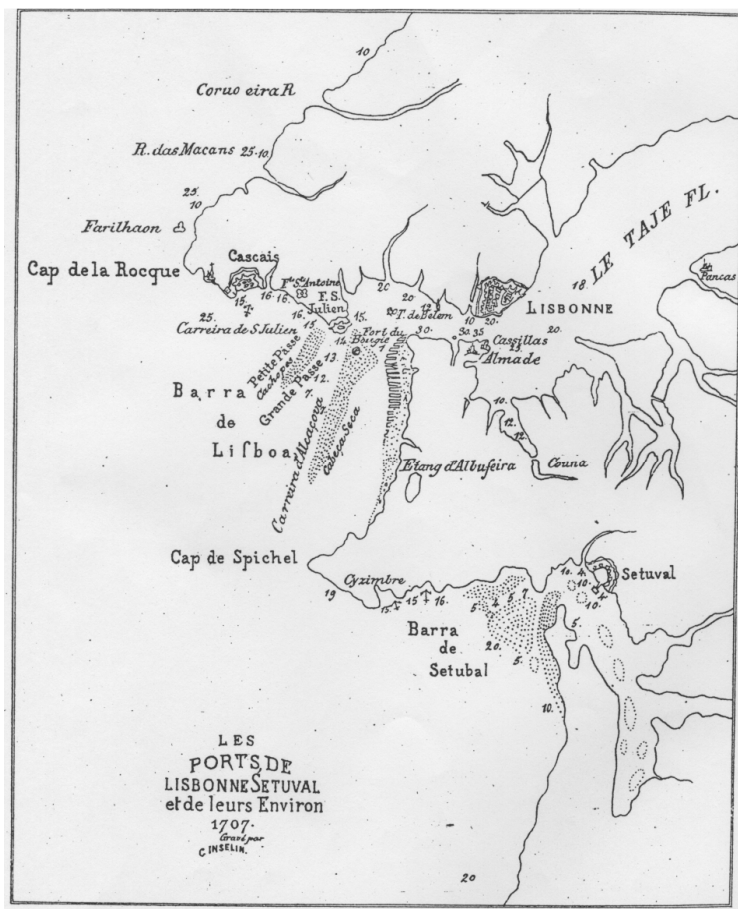
1700_21_nieuwe pafcaert van portugal.TIF
(ROBYN, 1700)



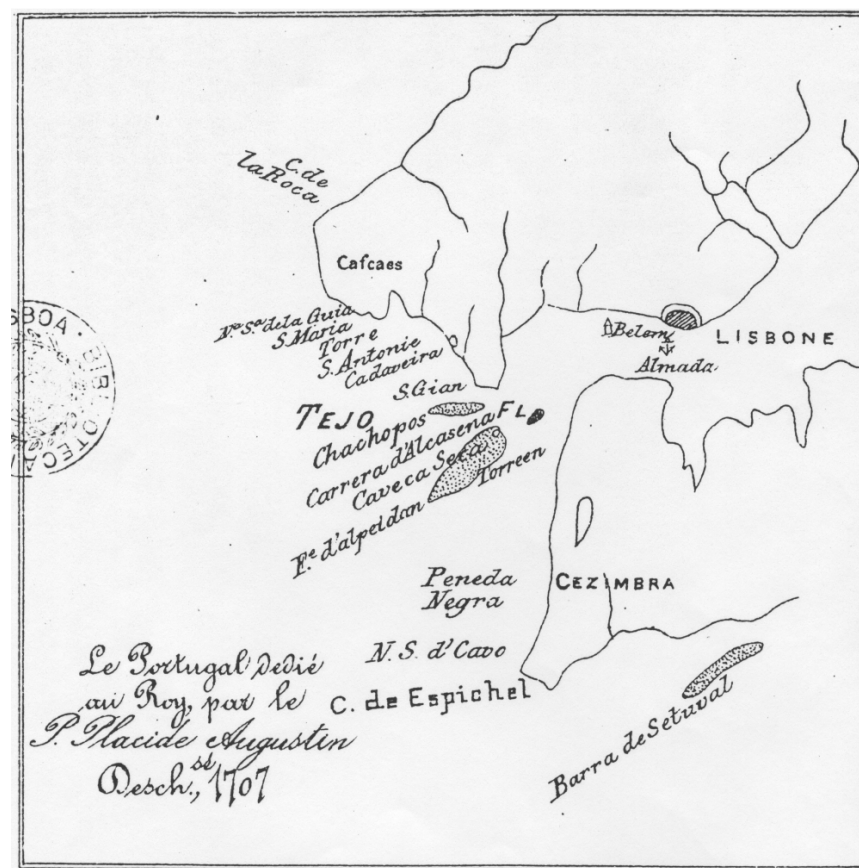
1704_26_le portugal et ses frontieres.TIF
(BAILLIEN in BALDAQUE DA SILVA, 1893)



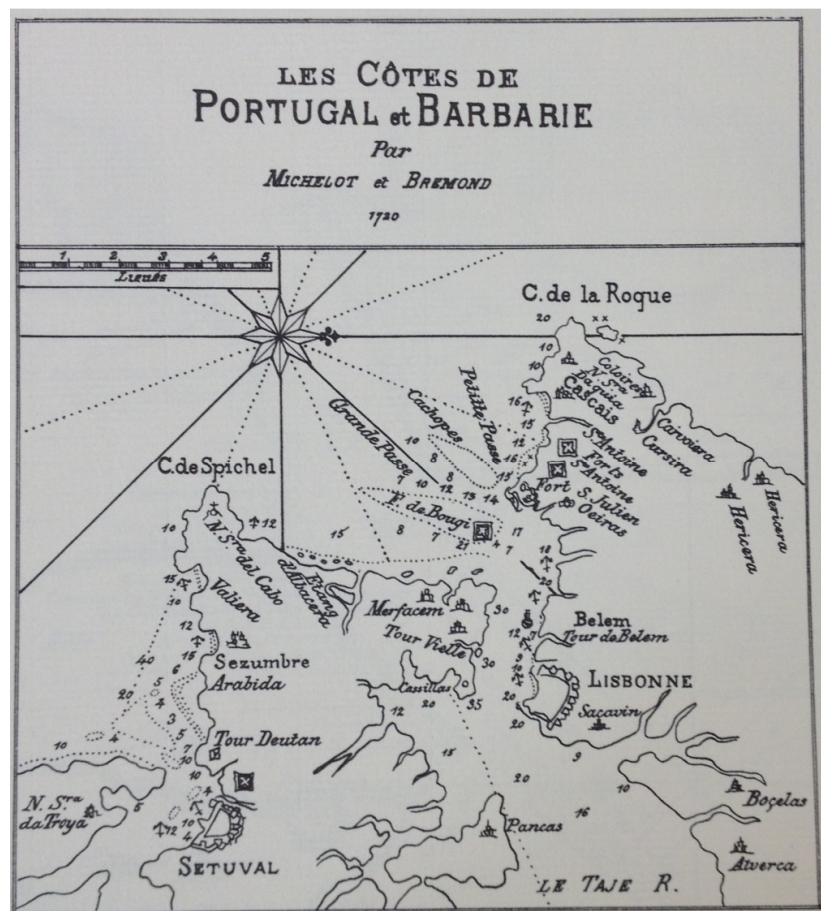
1707_les ports de lisbonne setuval et leurs environ.TIF
(INSELIN in BALDAQUE DA SILVA, 1893)



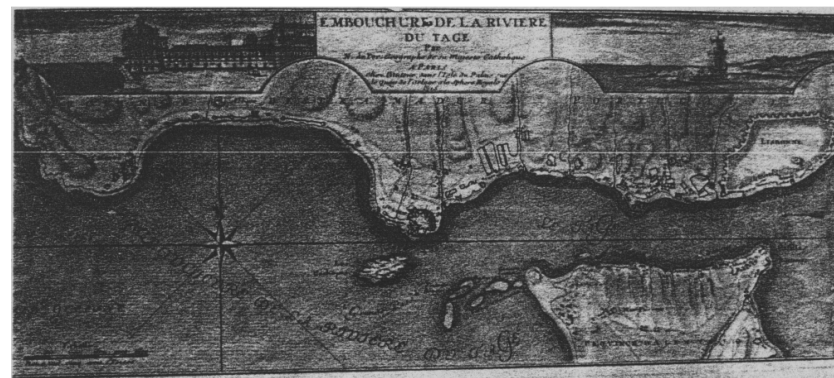
1707_27_le portugal dédié au roy.TIF
(AUGUSTIN in BALDAQUE DA SILVA, 1893)



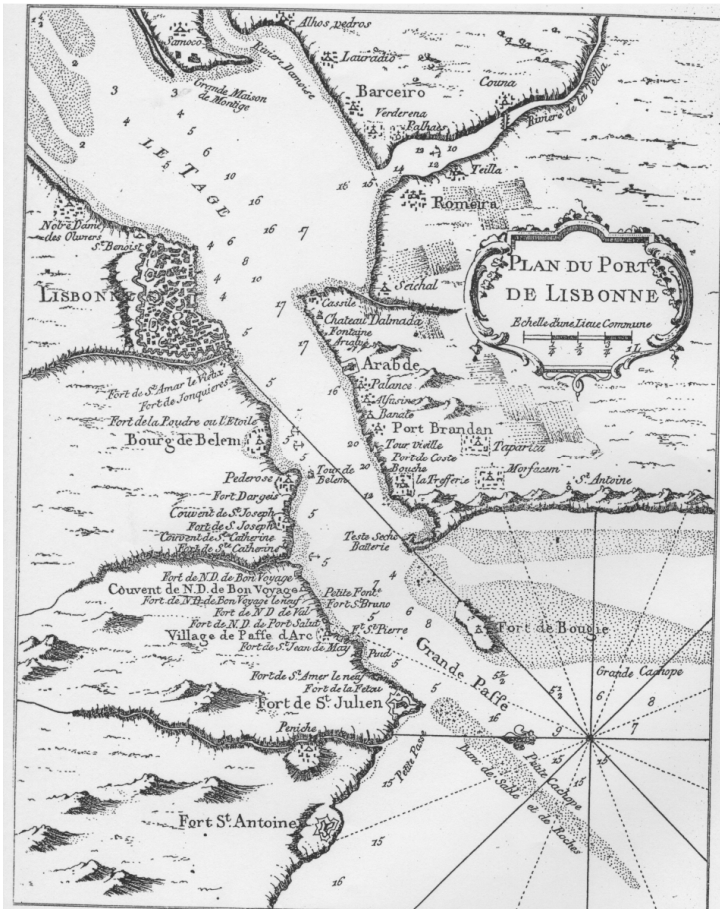
1720_109 - les cotes de portugal et barbarie.TIF
(MICHELOT & BREMOND in BALDAQUE DA SILVA, 1893)



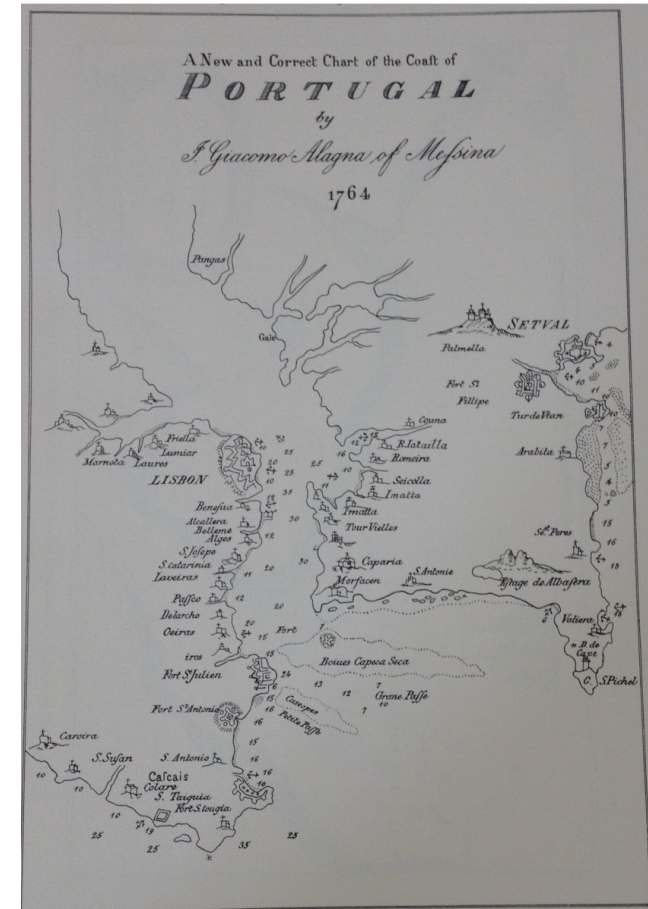
17--_40_almada antiga e moderna.TIF
FER in FLORES, 1987)



1756_Petit atlas maritime.TIF
(BELIN in BALDAQUE DA SILVA, 1893)



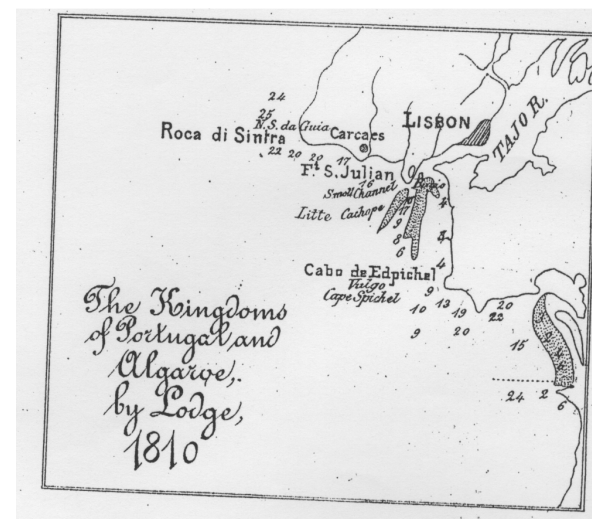
1764_112 - a new and correct chart of the coast of Portugal.TIF
(MEFSINA in BALDAQUE DA SILVA, 1893)



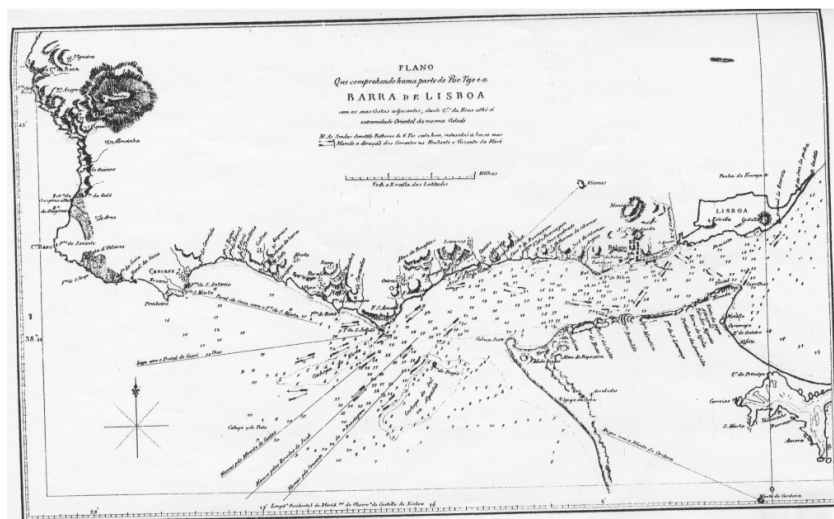
1808_15_carta militar das principais estradas de portugal.TIF
(ALMEIDA, 1808)



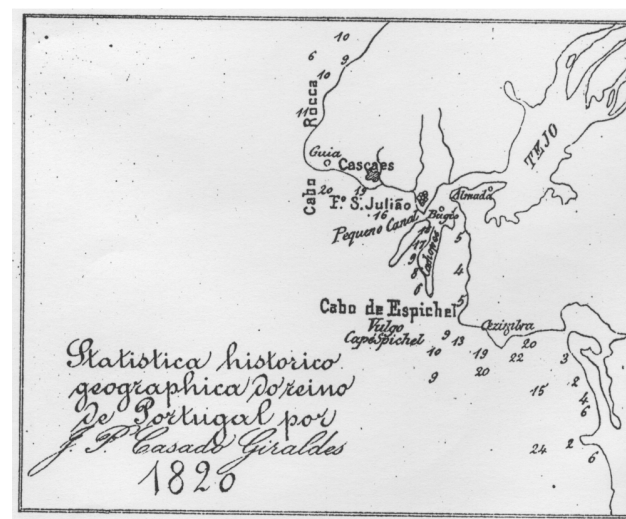
1810_the kingdoms of portugal and algarve.TIF
(LODGE in BALDAQUE DA SILVA, 1893)



1811_35_roteiro das costas de Portugal.TIF
(FRANZINI, 1811)



1820_statistica historico geographica do reino de portugal.TIF
(GIRALDES in BALDAQUE DA SILVA, 1893)



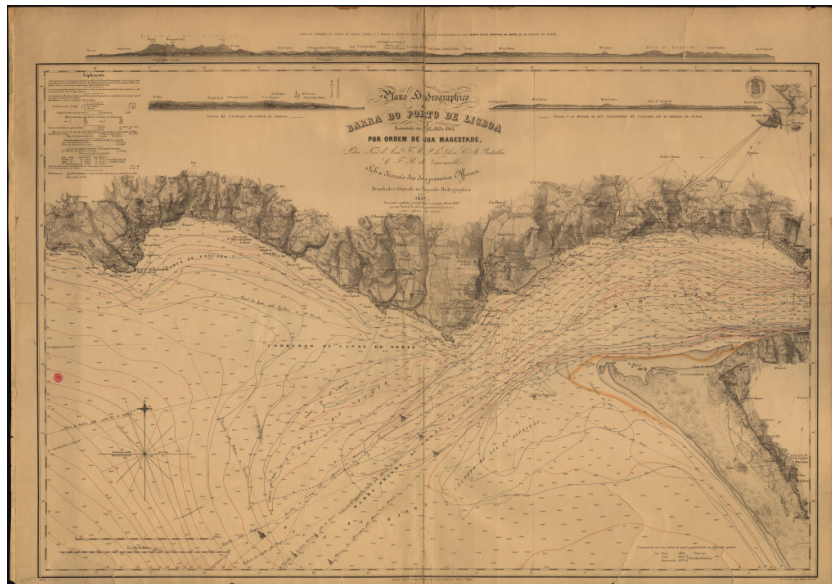
17--_43_almada antiga e moderna.TIF
(LAMOTTE in FLORES, 1987)



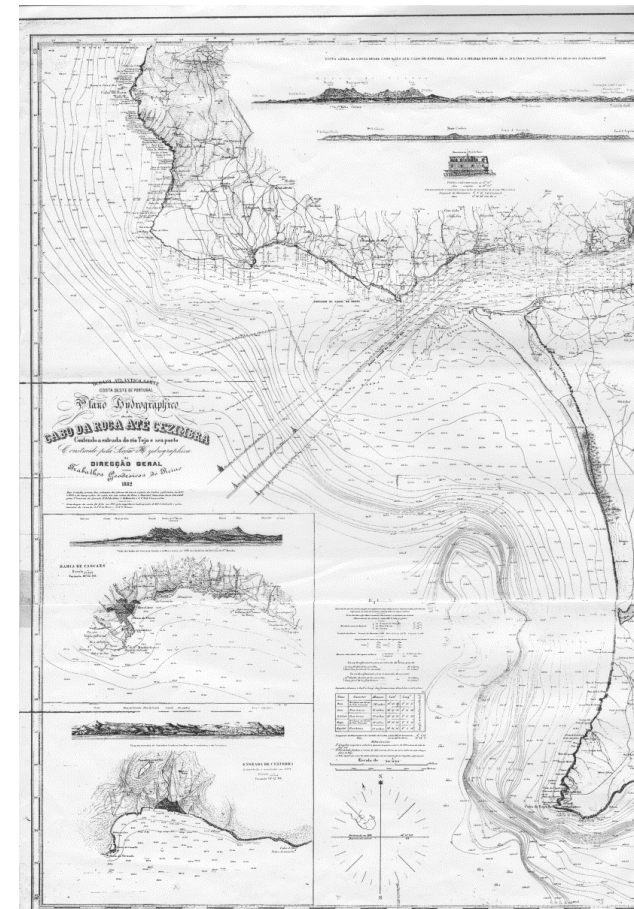
1842_mapa vizinhanças lisboa cc-1070-r_1_t24-C-R0150.TIF
(PATRÍCIO, 1842)



1857_barra do porto de lisboa_cc-996-r_0001_1_t24-C-R0150.tif
(SILVA *et al.*, 1857)



1882_plano hidrographico desde cabo da roca ate cezimbra_1.tif
(SILVA *et al.*, 1882)



ANEXO B – Dados Qualitativos dos Mapas Seleccionados

O presente Anexo contém duas listas contendo dados recolhidos nos mapas seleccionados neste estudo:

- A primeira lista apresenta os principais aspetos da análise qualitativa visual realizada aos elementos morfológicos da barra, ao total dos 32 mapas do presente trabalho.
- A segunda lista condensa a recolha de dados relativa à batimetria do Canal Sul, a 16 dos mapas candidatos à fase MDT do presente trabalho.

1ª Lista - principais aspetos da análise qualitativa visual realizada ao total dos 32 mapas do trabalho.

IDENTIFICAÇÃO DA DATA DE PROCESSAMENTO	NOME FICHEIRO DIGITALIZADO	HÁ DESENHO DE BANCOS	HÁ DESENHO DE CANAIS	BREVE DESCRIÇÃO DOS BANCOS E CANAIS INDICADOS NO MAPA <small>(pelo facto de estarem desenhados os bancos, assume-se que significa a indicação de um perigo para a navegação = a existência de zonas imersas, de menor profundidade ou emersas, como os atuais Cachopos e Bugio). [as localizações e orientações abaixo listadas são aproximadas e servem apenas como referência].</small>	Nº TOTAL DE BANCOS DESENHADOS	Nº TOTAL DE CANAIS NOMEADOS	NOME BANCO/ CACHOPO NORTE	NOME BANCO/ CACHOPO SUL	NOME CANAL/ BARRA NORTE	NOME CANAL/ BARRA SUL	CACHOPO SUL LIGADO À COVA DO VAPOR
xvia	1560_32_portugalliae que olim lusitania novissima e exactissima descriptio.tif	sim	não	Há nomeação de 2 canais, Norte e Sul. Estão delimitados (com linha a cheio), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte é representado por 2 pequenas elipses separadas, próximas e paralelas à costa norte, ambas com orientação ENE-WSW (uma em frente do Forte de S. Julião e outra, no seu alinhamento, mais a Oeste). O Cachopo Sul inicia-se próximo da Cova do Vapor (igualmente uma pequena área em forma de “pera” invertida, com orientação NE-SW).	3	2	os cachopos	-	Cª de S. Giaon	Cª dalcace na	não
xvi1	1583_32_charte maritime.tif	sim	não	Há nomeação de 2 canais, Norte e Sul, em localizações aproximadas aos atuais). Estão delimitados, de cada lado do Canal Sul, com dupla linha pontilhada, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se a SW do Forte de S. Julião (é uma elipse larga com orientação ENE-WSW). O Cachopo Sul inicia-se a Norte do Farol do Bugio (é uma forma de “pera”, com orientação NNE-SSW). Neste cachopo, estão desenhadas, a cheio (assumo que signifique zonas emersas e onde se encontrá o Farol do Bugio), 2 pequenas áreas (um losangulo e um “feijão”). Para Este do Cachopo Sul, separado dele e junto à costa, está delimitado outro banco (com dupla linha tracejada), maior e sem nome. Este banco estende-se desde a zona da Trafaria para a Cova do Vapor, contorna-a, continua ao longo da costa, alargando na Caparica e afunila para a zona da Fonte da Telha, onde termina.	3	2	Molech?ues	Mulahopu s	Gides Diep	Graahe diep	não
xviia	1608_1_colecao de mapas e plantas de cidades.tif	sim	não	Não há nomeação de canais. Estão delimitados (com linha a cheio e preenchidos com pontilhado), os 2 Cachopos (bancos). O Cachopo Norte encontra-se em frente do Forte de S. Julião (é uma minúscula elipse com orientação E-W). O Cachopo Sul é uma área muito maior que o Cachopo Norte, a SE dele e com a forma de “ferradura” (de pontas viradas para a nascente do rio), sensivelmente a meio do rio (entre o Forte de S. Julião e a Cova do Vapor. Este banco tem, no centro, a representação de um forte de 5 pontas (assume-se que é o Forte do Bugio).	2	0	os Cachopos	Cabeza Sequa	-	-	não

xviib	1608_2_colecao de mapas e plantas de cidades.tif	sim	não	Não há nomeação de canais. Estão delimitados (com linha a cheio), os 2 Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se a SW do Forte de S. Julião (é uma elipse estreita com orientação E-W). O Cachopo Sul é uma extensa área, a SE dele, que abrange o Forte do Bugio, o atual Cachopo Sul, a Golada e se estende até à costa (da Trafaria à Fonte da Telha).	2	0	Os Cachopos	Cabeza Sequa	-	-	sim
xvii1	1642_regimento de pilotos.tif	sim	não	Não há nomeação de canais. Estão desenhados (com traços e pontilhados), os 2 Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se em frente ao Forte de S. Julião (é um losangulo com orientação ENE-WSW). A SE deste, encontra-se o Cachopo Sul (é uma área em forma de “feijão”, de tamanho semelhante, com orientação NE-SW). Contêm, no interior, um pontilhado mais denso (que se supõe ser o Forte do Bugio). Para Este do Cachopo Sul, separado dele e junto à costa, está desenhado outro banco (com pontilhado), maior e sem nome. Este banco estende-se desde a zona da Trafaria para a Cova do Vapor, contorna-a, continua ao longo da costa, alargando na Caparica e afunila para a zona da Fonte da Telha, onde termina.	3	0	cachopos	cª seca	-	-	não
xvii2	1650_carta particolare del oceano.tif	sim	não	Há nomeação do canal Sul. Estão delimitados, de cada lado do Canal Sul, com dupla linha pontilhada, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se a SW do Forte de S. Julião (é uma elipse alongada com orientação ENE-WSW). O Cachopo Sul, maior, inicia-se no Farol do Bugio (é uma forma de “feijão”, com orientação NE-SW). Neste cachopo, está delimitada, a cheio 1 pequena área triangular (assumo Farol do Bugio). Para Este do Cachopo Sul, separado dele e junto à costa, está delimitado outro banco (com dupla linha tracejada), maior e sem nome. Este banco estende-se desde a zona da Trafaria para a Cova do Vapor, contorna-a, continua ao longo da costa, alargando na Caparica e afunila para a zona da Fonte da Telha, onde termina.	3	1	-	malecopos	-	canale di caracchi	não
xviic	1654_22_partte meridional do reyno de portugal.tif	sim	não	Há nomeação de 2 canais, Norte e Sul. Estão delimitados (com linha a cheio), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte é representado por 2 pequenas elipses separadas, próximas da costa norte e paralelas a ela, ambas com orientação E-W (uma em frente do Forte de S. Julião e outra, no seu alinhamento, mais a Oeste). O Cachopo Sul inicia-se no Farol do Bugio (é uma elipse de dimensão similar às de Norte, com orientação NE-SW). Parecido com o mapa de 1560.	3	2	os cachopos	-	C de S. Giom	Cª del caceva	não

xviii3	1673_20_pratica da arte de navegar.tif	sim	não	Não há nomeação de canais. Estão desenhados (a pontilhado), os 2 Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se em frente ao Forte de S. Julião (é um losangulo com orientação ENE-WSW). A SE deste, encontra-se o Cachopo Sul (é uma área em forma de “feijão”, de tamanho semelhante, com orientação NE-SW). Contêm, no interior, um pontilhado mais denso (assumo Forte do Bugio). Para Este do Cachopo Sul, separado dele e junto à costa, está desenhado outro banco (a pontilhado), de área similar e com nome Albofeira. Este banco estende-se desde a zona da Trafaria para a Cova do Vapor, contorna-a, continua ao longo da costa, alargando na Caparica e afunila para a zona da Fonte da Telha, onde termina.	3	0	caxopos	-	-	-	não
xviii4	1673_45_foral de almada.tif	sim	não	Há nomeação de 2 canais, Norte e Sul, em alinhamentos mais rodados a Norte que os atuais. Estão desenhados (a pontilhado no limite e no preenchimento), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se a SW do Forte de S. Julião (é uma forma de “pera” alongada e invertida, com orientação NE-SW). Em frente ao Forte de S. Julião e ocupando uma grande área do espaço do rio entre as duas costas, encontra-se o Cachopo Sul (é uma área enorme em forma de “pera” invertida, que se alonga muito para Sul, com orientação NE-SW). Contêm, no interior a Norte, um desenho indicando a localização do Forte do Bugio. Para Este do Cachopo Sul, separado dele e junto à costa, está desenhado outro banco (linha pontilhada), sem nome. Este banco inicia-se na zona da Cova do Vapor, alargando na Caparica e afunila para a zona da Fonte da Telha, onde termina.	2	2	cachopes	cabeca seca	klein einfahrt	grosse einfahrt in den hafen	não
xviii4	1680_23_pafcaart van de kufft van portugal.tif	sim	não	Há nomeação do canal Sul. Estão desenhados, de cada lado do Canal Sul, a pontilhado, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se a SW do Forte de S. Julião (é uma elipse com orientação ENE-WSW). O Cachopo Sul, de dimensão similar, inicia-se no Farol do Bugio (é uma elipse, com orientação NNE-SSW). Para Este do Cachopo Sul, separado dele e junto à costa, está indicado outro banco (pontilhado), sem nome. Este banco estende-se desde a zona da Trafaria, contorna a Cova do Vapor, continua ao longo da costa e afunila para a zona da Lagoa de Albufeira, onde termina.	4	1	norder cachops	zuyder cachops	-	crake disp	não
xviii4	17--_7_a bacia dos rios tejo e sado numa gravura francesa do sec 18.tif	sim	não	Há nomeação de 2 canais, Norte (alinhamento mais rodado a Norte que o atual) e Sul. Estão desenhados (linha exterior e preenchimento, a pontilhado), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se a SW do Forte de S. Julião (é uma elipse alargada, com orientação NE-SW). Em frente ao Forte de S. Julião e ocupando uma grande área do espaço do rio entre as duas costas, encontra-se o Cachopo Sul (é uma enorme forma de “pera” invertida, que se alonga muito para Sul,	3	2	L cachopes	Cabeca seca	petite passe	grande passe	não

				com orientação NNE-SSW). Contêm, no interior a Norte, um desenho indicando a localização do Forte do Bugio. Para Este do Cachopo Sul, separado dele e junto à costa, está desenhado outro banco (linha exterior e preenchimento, a pontilhado), sem nome. Este banco inicia-se, na zona da Cova do Vapor, estende-se alargado paralelamente ao longo da linha de costa para além da Lagoa de Albufeira, zona onde então afunila para Norte do Cabo Espichel, onde termina. O desenho dos bancos lembra o mapa de 1707 (xviii2).							
xviii1	1700_19_una nueva carta maritima de las costas de portugal.tif	sim	não	Há nomeação do Canal Sul. Estão indicados, de cada lado do Canal Sul, a pontilhado, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se a Sul do Forte de S. Julião (é uma elipse, afunilada a Sul, com orientação NE-SW). Em frente ao Forte de S. Julião e ocupando uma grande área do espaço do rio entre as duas costas, encontra-se o Cachopo Sul (é uma extensa área em forma de “pera” invertida, que se alonga muito para Sul, com orientação NE-SW). Contêm, no interior a Norte, um desenho a cheio (assumo que seja a localização do Forte do Bugio). Para Este do Cachopo Sul, separado dele e junto à costa, está desenhado outro banco (linha pontilhada), sem nome. Este banco estende-se desde a zona da Cova do Vapor, paralelamente ao longo da costa, até à Fonte da Telha. O desenho dos Cachopos lembra o mapa de 1673 (Xviid).	3	1	N. Cachops	Z. Cachops	-	crake diep	não
xviii a	1700_21_nieuwe pafcaert van portugal.tif	sim	não	Há nomeação do Canal Sul. Estão desenhados (com pontilhados), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte é representado por 2 pequenos corpos separados, próximos da costa norte (um círculo em frente do Forte de S. Julião e uma elipse mais a Sul, com orientação ENE-WSW). O Cachopo Sul inicia-se no Farol do Bugio (com área em forma de “feijão” e de tamanho similar aos de Norte, orientação NNE-SSW). Para Este do Cachopo Sul, separado dele e junto à costa, está desenhado, com pontilhado, outro banco, sem nome. Este banco estende-se desde a zona da Cova do Vapor, paralelamente ao longo da costa, até à Lagoa de Albufeira. O desenho dos Cachopos lembra o mapa de 1673 (Xviid).	3	2	noorder cachops	zuyder cachops	-	crake diep	não
xviii b	1704_26_le portugal et ses frontieres.tif	sim	não	Há nomeação de 2 canais, Norte e Sul, em localizações aproximadas aos atuais). Estão delimitados (com linha a cheio e preenchidos a pontilhado), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se a SW do Forte de S. Julião (é elipse alargada, com orientação ENE-WSW). Em frente ao Forte de S. Julião e ocupando uma grande área do espaço do rio entre as duas costas, encontra-se o Cachopo Sul (é uma extensa área em forma de “pera” invertida, que se alonga muito para Sul, com orientação NE-SW). Contêm, no interior a Norte, um desenho indicando a localização	2	2	cachopos	cabeca secca	petite passe	grande passe	não

				do Forte do Bugio. O desenho dos Cachopos lembra o mapa de 1673 (Xviid).							
xviii2	1707_les ports de lisbonne setuval et leurs environ.tif	sim	não	Há nomeação de 2 canais, Norte e Sul, em alinhamentos mais rodados a Norte que os atuais. Estão desenhados (preenchimento a pontilhado), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se a Oeste do Forte de S. Julião (é uma forma de elipse alargada, com orientação N-S). Em frente ao Forte de S. Julião e ocupando uma grande área do espaço do rio entre as duas costas, encontra-se o Cachopo Sul (é uma área enorme em forma de “pera” invertida, que se alonga muito para Sul, com orientação NE-SW). Contêm, no interior a Norte, um desenho indicando a localização do Forte do Bugio. Para Este do Cachopo Sul, separado dele e junto à costa, está desenhado outro banco (linha a cheio dentada e pontilhada), sem nome. Este banco inicia-se na zona da Cova do Vapor, alarga na Caparica, estende-se ao longo da costa para além da Lagoa de Albufeira e então afunila para a zona a Norte do Cabo Espichel, onde termina. O desenho dos Cachopos lembra o mapa de 1673 (Xviid).	3	2	cachopos	cabeça seca	petite passe	grande passe CARREIR A D'ALCAÇ OVA	não
xviiiC	1707_27_le portugal dedié au roy.tif	sim	não	Há nomeação do Canal Sul. Estão delimitados (com linha a cheio e preenchidos a pontilhado), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se em frente ao Forte de S. Julião (é uma elipse, com orientação E-W). A Sul deste, encontra-se o Cachopo Sul (é uma área maior, em forma de “pera” invertida e alongada, com orientação NE-SW). Contêm, no interior na zona Norte, uma área delimitada a cheio, designada Caveca Seca. A Norte deste ponto, a meio do rio, está desenhado um pequeno elemento (com padrão que parece rocha) e assumo que possa ser o Forte do Bugio.	2	1	chachopos	f.e d'alpeidan	-	carrera d'alcase na	não
xviii3	1720_109 - les cotes de portugal et barbarie.tif	sim	-	Há nomeação de 2 canais, Norte e Sul. Estão desenhados (linha pontilhada), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se a Oeste do Forte de S. Julião (é uma forma de elipse afunilada, com orientação NE-SW). Em frente ao Forte de S. Julião e ocupando um grande espaço do rio entre as duas costas, encontra-se o Cachopo Sul (é uma extensa área em forma de “pera” invertida, que se alonga muito para Sul, com orientação NNE-SSW). Contêm, no interior a Norte, um desenho indicando a localização do Forte do Bugio. Para Este do Cachopo Sul, separado dele e junto à costa, está desenhado outro banco (linha pontilhada), sem nome. Este banco inicia-se no rio, ao largo da Cova do Vapor, estende-se ao longo da costa e vai afunilando para a zona da costa, a Norte do Cabo Espichel, onde termina. Este mapa é similar ao de 1707 (xviii2).	4	2	cachopes	-	petitte passe	grande passe	não

xviii d	17--_40_almada antiga e moderna.tif	sim	não	Há nomeação do Canal Sul. Estão delimitados (linha a cheio), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte é uma elipse alargada, com orientação E-W, junto do Forte de S. Julião. O Cachopo Sul é representado por uma sequência de 5 pequenas áreas (em forma de “feijão”) próximas umas das outras, que se estendem aproximadamente ENE-WSW desde a Cova do Vapor para Oeste e depois Sul.	6	1	ilegível	-	-	ilegível	não
xviii 5	1756_Petit atlas maritime.tif	sim	não	Há nomeação de 2 canais, Norte e Sul, em alinhamentos similares aos atuais. Estão desenhados (por preenchimento a pontilhado), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se em frente do Forte de S. Julião (é uma elipse estreita e alongada e invertida, com orientação NE-SW). A Este deste, encontra-se o Cachopo Sul (é uma área enorme em forma de “pera” invertida, que se alonga muito para Sul, com orientação NNE-SSW). Contêm, no interior a Norte, a delimitação de uma área (linha a cheio) identificada como Fort de Bougie. A zona Norte do Cachopo Sul tem uma forma diferente de outros mapas: estreita depois do Farol e alarga na zona próxima da Cova do Vapor. Para Este do Cachopo Sul, separado dele mas afastado também da costa, está desenhado outro banco (por preenchimento a pontilhado), sem nome. Este banco inicia-se na zona da Cova do Vapor e estende-se para Sul. O desenho dos Cachopos lembra o mapa de 1673 (Xviid).	3	2	petite cachope	grande cachope	petite passe	grande passe	não
xviii 7	1764_112 - a new and correct chart of the coast of Portugal.tif	sim	não	Há nomeação de 2 canais, Norte e Sul, em alinhamentos mais rodados a Norte que os atuais. Estão desenhados (limite a pontilhado), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se, próximo, a SW do Forte de S. Julião (é uma forma de “pera” alongada e invertida, com orientação NNE-SSW). Em frente ao Forte de S. Julião e ocupando uma grande área do espaço do rio entre as duas costas, encontra-se o Cachopo Sul (é uma área muito maior em forma de “pera” invertida, que se alonga muito para Sul, com orientação N-S). A zona Norte deste Cachopo estende-se quase até Forte de S. Julião e contêm, próximo da Cova do Vapor, um desenho com a indicação Boiues (assumo Forte do Bugio). Para Este do Cachopo Sul, separado dele e junto à costa, está desenhado outro banco (linha pontilhada, com minúsculas áreas ocasionalmente delimitadas no interior), sem nome. Este banco inicia-se na zona da Cova do Vapor, estende-se alargado paralelamente ao longo da linha de costa para além da Lagoa de Albufeira, zona onde afunila e termina (Norte do Cabo Espichel).	2	2	cassopes	capeca seca	petite passe	grande passe	não

xviii8	1765_28_mapa da barra de lisboa e do seu rio tejo.tif	sim	não	Não há nomeação de canais. Estão indicados (preenchimento a pontilhado), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se em frente do Forte de S. Julião (é uma elipse extensa e alargada, com orientação ENW-WSW). O extremo Sul deste Cachopo estende-se para Este, quase até à extremidade Sul do Cachopo Sul (criando um grande banco que atravessa o Canal Sul). A Este do Cachopo Norte, encontra-se o Cachopo Sul (é igualmente uma elipse extensa e alargada, com orientação NNE-SSW). Contêm, no interior a Norte, um desenho indicando a localização do Forte do Bugio. Muito próximo do Bugio, está indicado outro banco (preenchimento a pontilhado), junto à costa, sem nome e separado do Cachopo Sul por um estreito canal. Este banco tem uma extensa área inicial na zona da Cova do Vapor, estende-se alargado paralelamente ao longo da linha de costa até à Lagoa de Albufeira (zona onde afunila e termina).	4	0	Ne. Cachopos	Sul. Cachopos	-	-	não
xviii10	1779_29_a chart of the coast of spain and portugal wit the balearic islands.tif	sim	não	Há nomeação do Canal Sul. Em frente ao Forte de S. Julião e a meio do rio, encontra-se desenhado um único banco (linha a cheio e preenchimento a pontilhado), identificado como Cachopo, que tem a forma de uma “ferradura” de pontas viradas para a nascente do rio (sendo a ponta Sul mais extensa para dentro do rio). Esta forma faz lembrar o mapa de 1608 (Xviii). Colado a esta ponta, está delimitado outro banco (linha pontilhada, com minúsculas áreas ocasionalmente delimitadas no interior), sem nome, junto à costa. Este banco (que contém a indicação Bugio) inicia-se na zona da Cova do Vapor, alarga na Caparica, vai afunilando para Sul ao longo da linha de costa e termina a Norte do Cabo Espichel.	2	1	cachopo	cachopo	-	great channel	sim
xviii11	1788_carta esferica.tif	sim	não	Há nomeação do Canal Sul. Estão desenhados (preenchimento a pontilhado), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se a Sul do Forte de S. Julião (tem a forma de “feijão”, com orientação ENE-WSW). Para SE do Forte de S. Julião e ocupando uma grande área do espaço do rio entre as duas costas, encontra-se o Cachopo Sul (é uma área enorme em forma de “pera” invertida, que se alonga muito para Sul, com orientação N-S) e contém a designação Bogia, na zona Norte. Para Este do Cachopo Sul, separado dele e junto à costa, está desenhado outro banco (preenchimento a pontilhado), sem nome. Este banco inicia-se na zona da Cova do Vapor, alarga na Caparica, estende-se ao longo da costa e termina a seguir da Lagoa de Albufeira. O desenho dos Cachopos lembra o mapa de 1707 (xviii2).	2	0	cachopos	cabeca seca	-	-	não

xix1	18--_18_mapa geografico do reino de portugal.tif	sim	não	Há nomeação do Canal Norte. Estão apenas parcialmente delimitados (com linha pontilhada) os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte é representado por uma estreita elipse, a Sul do Forte de S. Julião, com orientação NE-SW. O Cachopo Sul está a sul do Bugio (é uma elipse alongada NE-SW).	2	1	-	cachopos	pequen o canal	-	não
xixa	1808_15_carta militar das principais estradas de portugal.tif	sim	não	Há nomeação do Canal Sul. Estão delimitados (com linha pontilhada), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte é representado como um pequeno “feijão”, a Sul do Forte de S. Julião, com orientação NE-SW. O Cachopo Sul é representado a SE do Forte, como uma elipse alargada e longa, com orientação NE-SW (inclui o Bugio na extremidade Norte).	2	2	-	-	barra do norte	barra do sul	não
xix2	1810_the kingdoms of portugal and algarve.tif	sim	não	Há nomeação do Canal Norte. Estão desenhados (com linha a cheio e preenchimento pontilhado) os 2 Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se a Sul do Forte de S. Julião (é uma elipse afunilada, com orientação NE-SW). A SE do Forte de S. Julião encontra-se o Cachopo Sul e é uma elipse alongada, com orientação N-S. A sua extremidade Norte (que inclui o Farol do Bugio), apresenta uma curvatura para ESE, cuja ponta termina em frente à Caparica (afastado da costa).	2	1	litte cachope	-	small channel	-	não
xix3	1811_35_roteiro das costas de portugal.tif	sim	sim	Não estão nomeados os canais, apenas indicados os alinhamentos de navegação (em localizações semelhantes às atuais). Estão delimitados (com linhas pontilhadas, separando diferentes profundidades), de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte é representado por uma extensa elipse orientada ENE-WSW. Para Este dele, encontra-se o Cachopo Sul (extensa elipse mais larga, orientada NE-SW) que inclui o Farol do Bugio. Os limites Norte deste Cachopo prolongam-se para próximo da linha de costa: a Norte estende-se para a Trafaria, a Sul vai afunilando para a costa, para além da Caparica.	2	0	cachopo do norte	cachopo do sul ou alpeidão	-	-	não
xix4	1820_statistica historico geographica do reino de portugal.tif	sim	não	Há nomeação do Canal Norte. Estão desenhados (com linha a cheio) os 2 Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se a Sul do Forte de S. Julião (é uma elipse alongada, com orientação NE-SW). A SE do Forte de S. Julião encontra-se o Cachopo Sul (delimitado parcialmente apenas a Sul do Bugio) e é uma elipse alongada, com orientação NNE-SSW).	2	1	-	cachopos	pequen o canal	-	-

xixb	17--_43_almada antiga e moderna.tif	sim	não	A imagem não abrange a zona a Oeste do Farol do Bugio. Os canais não estão nomeados. Está parcialmente desenhado (limite a pontilhado) a extremidade Norte do Cachopo Sul (que inclui o Farol do Bugio). É uma forma de “feijão” com orientação NE-SW. Para Este do Cachopo Sul, separado dele e junto à costa, está desenhado outro banco (linha pontilhada), sem nome. Este banco inicia-se e alarga muito na zona da Cova do Vapor, estreita para Sul em direção à linha de costa e termina depois da Caparica.	2	1	-	ilegível	-	barre	não
xixc	1842_mapa vizinhancas lisboa cc-1070-r_1_t24-C-R0150.tif	sim	não	Os canais não estão nomeados. Estão desenhados (limite a pontilhado) os 2 Cachopos (bancos). O Cachopo Norte inicia-se a SW do Forte de S. Julião (é uma elipse alongada, com orientação ENE-WSW). A SE do Forte de S. Julião e ocupando uma grande espaço do rio entre as duas costas, encontra-se o Cachopo Sul (é uma área em forma de “pera” invertida, que se alonga para SW, com orientação NE-SW). Contêm, no interior a Norte, um desenho indicando a localização do Forte do Bugio. Para Este do Cachopo Sul, separado dele e junto à costa, está desenhado outro banco (linha pontilhada), sem nome. Este banco inicia-se e alarga muito na zona da Cova do Vapor, estreita para Sul em direção à linha de costa e termina depois da Caparica.	3	0	-	-	-	-	não
xix5	1857_barra do porto de lisboa_cc-996-r_0001_1_t24-C-R0150.tif	sim	sim	Há nomeação de 2 canais, Norte e Sul, em localizações semelhantes às atuais. As linhas batimétricas representadas permitem reconhecer, de cada lado do Canal Sul, os Cachopos (bancos). O Cachopo Norte é identificado nas batimétricas dos 5 e 10m, alongado genericamente NE-SW, entre o Forte de S. Julião e o banco da barra. O Cachopo Sul é identificado nas batimétricas dos 5 e 10m, menos alongado que o de Norte, com uma orientação geral NE-SW, a partir do Farol do Bugio. Estão ainda marcadas (linha a cheio) o que parecem ser a batimétrica dos 2,5m e a delimitação de zonas emersas. As batimétricas dos 5 e 10m do Cachopo Sul prolongam-se para a costa, a Norte, estendem-se para além da Trafaria e para Sul, estendem-se para além da Caparica. Junto à Cova do Vapor, existe a indicação Gollada do Sul, que identifica um canal estreito e pouco profundo.	-	2	cachopo do norte	cachopo do sul ou alpeidão	corredor ou canal do norte	barra grande ou canal do sul	não
xix6	1882_plano hidrographico cabo da roca ate cezimbra_1.tif	sim	sim	Este mapa é similar ao de 1857 (xix5), no que respeita aos bancos e canais.	-	2	cachopo do norte	cachopo do sul ou alpeidão	corredor ou canal do norte	barra grande ou canal do sul	não

2ª Lista – Recolha dos valores de profundidade* indicados no Canal Sul em 16 dos mapas candidatos à fase MDT.

DATA	PROFUNDIDADE SEGMENTO NORTE (BRAÇAS)	PROFUNDIDADE SEGMENTO CENTRO (BRAÇAS)	PROFUNDIDADE SEGMENTO SUL (BRAÇAS)	PROFUNDIDADES E CONSIDERAÇÕES SOBRE SUAS UNIDADES
1583	15	12	15	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Apesar dos topónimos serem em francês, a toponímia dos canais é holandesa (<i>diep</i> significa profundo em holandês), pelo que se considera que os dados de profundidade serão em braças marítimas holandesas.
1650	15	12	15	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Os topónimos são italianos bem como o autor. Os valores de profundidade são similares aos de 1583 e a linha de costa de Cascais a Belém e na Trafaria/Caparica é muito semelhante, pelo que se assume dados batimétricos retirados de 1583. Considera-se portanto a mesma unidade que 1583, braças marítimas holandesas.
1673	15	13	15	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Os topónimos são portugueses bem como o autor e o mapa destinava-se a auxiliar a navegação na foz do rio. Não temos informação de recolha de dados batimétricos. Presume-se valores “herdados” de mapas anteriores devido à semelhança de valores com 1650. Assume-se a mesma unidade, braças marítimas holandesas.
1680	-	-	10	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Idem como em 1700. Topónimos em francês, toponímia holandesa dos canais. Assume-se braças marítimas holandesas.
1700a	15	-	10	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Idem como em 1583. Apesar dos topónimos serem em francês, a toponímia dos canais é holandesa (<i>diep</i> significa profundo em holandês). GUERREIRO & GODINHO, 2006, admite a hipótese de dados de profundidade em braças marítimas holandesas e, neste caso, aceite.
1700b	-	11	8	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Idem como em 1700a. Topónimos em francês, toponímia holandesa dos canais. Consideram-se braças marítimas holandesas.
1707	14	12,5	7	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Topónimos e autor francês. Este mapa é parecido ao de BELIN de 1756 em ALEGRIA & DIAS, 2000 mas com menos sondas de profundidades. Assumidas braças francesas.
1720	14,5	9,5	8,5	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Topónimos franceses e autor francês. Relativamente similar ao mapa 1707 e considerando a referência em ALEGRIA & DIAS, 2000 “... em 1693, França publicou o NEPTUNE, que inclui Portugal...” é possível que outros mapas e autores tenham reutilizado aqueles dados. Assumem-se braças francesas.
Séc. XVIII	14	-	-	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Topónimos franceses e autor francês. Relativamente similar ao mapa 1707 e considerando a referência em ALEGRIA & DIAS, 2000 “... em 1693, França publicou o NEPTUNE, que inclui Portugal...” é possível que

				outros mapas e autores tenham reutilizado aqueles dados. Assumem-se braças francesas.
1764	24	12,5	8	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Topónimos franceses, autor inglês. Pelo observado no mapa de BELIN de 1756 em ALEGRIA & DIAS, 2000, imagina-se ingleses não tenham feito recolha de dados de profundidade em Portugal e tenham replicado os dados de BELIN. Por isso, se considera aqui, braças francesas.
1765	17,5	18	17	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Topónimos franceses, autor inglês. Pelo observado no mapa de BELIN de 1756 em ALEGRIA & DIAS, 2000, imagina-se ingleses não tenham feito recolha de dados de profundidade em Portugal e tenham replicado os dados de BELIN. Por isso, se considera aqui, braças francesas.
1779	-	14	-	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Topónimos franceses, autor inglês. Pelo observado no mapa de BELIN de 1756 em ALEGRIA & DIAS, 2000, imagina-se ingleses não tenham feito recolha de dados de profundidade em Portugal e tenham replicado os dados de BELIN. Por isso, se considera aqui, braças francesas.
1788	-	10	15	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Topónimos portugueses. autor espanhol. Dada a intervenção espanhola no levantamento costeiro de Portugal no fim do sec. XVII (TOFIÑO e a sua Carta Esférica são os principais representantes, com a missão de melhorar cartas hidrográficas de Espanha e Portugal, de acordo com ALEGRIA & DIAS, 2000). Pressume-se possível algum levantamento de informação pelo que as unidades das profundidades indicadas poderão ser em braças espanholas.
Séc. XIX	16	17	7,7	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Topónimos portugueses. autor espanhol. Dada a intervenção espanhola no levantamento costeiro de Portugal no fim do sec. XVII (TOFIÑO e a sua Carta Esférica são os principais representantes, com a missão de melhorar cartas hidrográficas de Espanha e Portugal, de acordo com ALEGRIA & DIAS, 2000). Como esta carta é posterior à de TOFIÑO, considera-se possível que tenha herdado informação. As unidades das profundidades indicadas poderão ser em braças espanholas.
1810	16	17	7,7	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Topónimos ingleses como o autor e as unidades de distância (em <i>british miles</i>). Mas os valores de profundidades são iguais ao mapa Séc. XIX, por isso aqui se assume igualmente braças espanholas.
1820	16	17	7,7	Unidades das profundidades não indicadas no mapa. Topónimos portugueses mas autor espanhol (o mesmo do mapa Séc. XIX). Mas os dados são iguais ao mapa de 1810 que por sua vez são iguais ao mapa Séc. XIX. Assumidas braças espanholas.

* as profundidades a negrito indicam valores que constituem a média dos vários valores indicados num determinado segmento do canal Sul no mapa em análise.

ANEXO C – Faróis e Monumentos Seleccionados

Neste Anexo listam-se as coordenadas geográficas e demais informação dos faróis e monumentos seleccionados para a base vectorial do projeto.

ID	NOME	NUMERO DO FAROL	DATA	LONGITUDE °	LATITUDE °
1	Cabo da Roca	186/D-2108	1772	-09° 29,84'	38° 46,91'
2	Cabo Raso	189/D-2110	1693	-09° 29,15'	38° 42,57'
3	Guia	192/D-2114	1522	-09° 26,78'	38° 41,74'
4	Santa Marta	195/D-2118	1663	-09° 25,26'	38° 41,42'
5	São Julião	206/D-2124	1553	-09° 19,52'	38° 40,47'
6	Bugio	210/D-2126	1578	-09° 17,93'	38° 39,63'
7	Cabo Espichel	360/D-2139	1812	-09° 12,98'	38° 24,93'
8	Forte do Cavalo	363/D-2140	1652	-09° 6,98'	38° 26,07'
9	Gibalta	0	1914	-09° 15,97'	38° 41,95'
10	Esteiro	0	1914	-09° 15,59'	38° 42,23'
11	Outão	0	1390	-08° 56,06'	38° 29,31'
12	Cabo Carvoeiro	0	1790	-09° 24,47'	39° 21,63'
13	Berlenga	0	1841	-09° 30,56'	39° 24,92'

ID	NOME DO MONUMENTO	DATA	LONGITUDE_x °	LATITUDE_y °
100	Torre do Bugio/Torre de S. Lourenço/Forte de S. Lourenço da Cabeça Seca/Farol do Bugio	1590	-09,298952°	38,660497°
101	Forte de São Julião da Barra	1553	-09,325363°	38,674605°
102	Torre fortificada de Cascais/Torre de D. João II e Fortaleza de Nossa Senhora da Luz	1594	-09,418588°	38,693535°
103	Castelo de São Jorge	139 a.c.	-09,133579°	38,71398°
104	Torre de Belém	1501-?	-09,21597898°	38,69158542°
105	Fortaleza da Torre Velha/Torre de São Sebastião de Caparica/Forte da Caparica	1488	-09,211617°	38,676531°
106	Santuário de Nossa Senhora do Cabo/Santuário de Nossa Senhora do Cabo Espichel/Santuário de Nossa Senhora da Pedra da Mua	1414	-09,214878°	38,420258°

107	Castelo de Sesimbra/Castelo e cerca urbana de Sesimbra	1165	-09,107753°	38,4516°
108	Forte da Roca. no Alto das Estradas	1640	-09,498464°	38,780288°
109	Forte de São Filipe/Pousada de São Filipe	1594	-08,909221°	38,517715°
110	Forte de São João Baptista/Forte da Berlenga	1666	-09,510206°	39,411374°
111	Forte do Cavalo/Forte de São Teodósio/Farol do Forte do Cavalo	1652	-09,116475°	38,434559°
112	Mosteiro dos Jerónimos	1514-1520	-09,206703901°	38,69789084°
113	Capela de São Sebastião/Igreja de São Sebastião (Almada)	1565	-09,161413°	38,678614°
114	Pelourinho de Almada	1513	-09,222088°	38,645517°
115	Convento de Santa Maria da Arrábida/Convento da Arrábida	1539-1542	-08,995181084°	38,47410583°

ANEXO D – Apresentações Públicas do Trabalho

Este Anexo reproduz o resumo da comunicação oral apresentada no MEC2015 (Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira) e o poster apresentado no EUE2015 (Encontro de Utilizadores ESRI).



3ª Conferência sobre morfodinâmica estuarina e costeira
Universidade do Algarve, 14-15 Maio 2015

EVOLUÇÃO MORFODINÂMICA DO ESTUÁRIO EXTERIOR DO TEJO COM BASE EM CARTOGRAFIA DOS SÉCULOS XV AO XIX: RESULTADOS PRELIMINARES.

Fátima Valverde¹, Pedro Cabral² e Rui Taborda³

¹Mestranda C&SIG, Nova Information Management School, Universidade Nova de Lisboa, Campus de Campolide, 1070-312 Lisboa, Portugal. g2011103@novaims.unl.pt.

² Professor auxiliar, Nova Information Management School - Universidade Nova de Lisboa, Campus de Campolide, 1070-312 Lisboa, Portugal. pcabral@novaims.unl.pt.

³Professor auxiliar, Departamento de Geologia - Faculdade de Ciências Universidade de Lisboa, Edifício C6, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal. rtaborda@fc.ul.pt.

1. Enquadramento

Este trabalho tem por objetivo avaliar as alterações morfológicas no estuário exterior do Tejo ao longo de quatro séculos, com base na análise de cartografia antiga e mapas históricos. Foram aplicadas ferramentas de análise espacial em ambiente SIG, permitindo deduzir a evolução espaço-temporal da morfodinâmica da área de estudo (fig. 1).



Fig. 1. Área de estudo inicial (zona de maior interesse a tracejado) sobre mapa de localização (Fonte: Atlas de Portugal – IGP – 1:500.000).

2. Metodologia

A análise proposta é suportada nas seguintes tarefas:

- 1) Recolha das bases cartográficas históricas (versões policopiadas) e avaliação dos respetivos conteúdos para selecionar candidatos possíveis à construção de modelos digitais de terreno (MDT) (existência de informação batimétrica).
- 2) Análise semi-quantitativa (nomeadamente toponímia, estruturas naturais representadas, tais como canais e barras, dimensões de elementos morfológicos e relações espaciais entre os eles) (fig.2).
- 3) Digitalização e georreferenciação de mapas (fig. 3.a).
- 4) Recolha nominal de elementos quantitativos com base na informação apresentada. Nos casos em que tal foi possível, geração individual de MDT da embocadura do rio Tejo, a partir de digitalização dos dados cartografados (fig. 3.b).
- 5) Análise da informação recolhida: comparação dos modelos gerados com a situação atual e visualização espaço-temporal da evolução; comparação dos dados semi-quantitativos recolhidos ao longo dos séculos.



Fig. 2 – Mapas selecionados na fase piloto (da esq. para dir.): séc. XVI “Description de Portugal”, Lucas Waghenaer (Alegria & Dias, 2000); séc. XVII “Carta Particolare del Oceano” (Baldaque da Silva, 1990) e séc. XIX “Plano Hidrográfico, Cabo da Roca ate Cezimbra” (Baldaque da Silva, 1990).

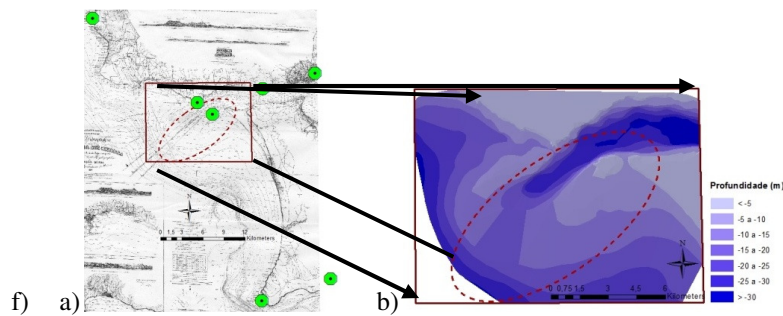


Fig. 3 – Mapa piloto do séc. XIX (referido na fig. 2). a) georeferenciado sobre base vectorial de monumentos históricos criada para o efeito (pontos verdes). b) produzido MDT para área de estudo (rectângulo a vermelho) por digitalização de dados de profundidade constantes no mapa.

3. Resultados e Conclusões

Nesta fase inicial de desenvolvimento do trabalho e com base em cerca de 40 mapas dos séculos XV ao XIX, os resultados preliminares são ainda escassos mas promissores. Após vários testes, foram seleccionados (consoante o tipo de informação constante no mapa e/ou o erro obtido na georreferenciação), 3 mapas que constituíram o teste piloto aqui apresentado: todos para recolha de dados semi-quantitativos (Tabela I.) e um deles para a geração do MDT (fig. 3. b).

Tabela I. Identificação preliminar dos principais elementos morfológicos identificados nos mapas piloto (referidos na fig.2)

Data	Total bancos representados embocadura	Bancos arenosos representados		Canais representados		
		Cachopo Norte	Cachopo Sul	Barra Norte	Barra Sul	Golada
Séc. XVI	4	✓	✓			
Séc. XVII	3	✓	✓		✓	
Séc. XIX	2	✓	✓	✓	✓	✓

Após a realização deste estudo piloto conclui-se que, para uma efetiva comparação temporal entre MDT, será necessário encontrar mais mapas elegíveis de diferentes idades e comparação com um MDT atual.

O alargamento da recolha de dados semi-quantitativos a todos os mapas de que dispomos constituirá um acréscimo qualitativo positivo para os resultados deste trabalho. Existem diversas limitações inerentes à metodologia proposta que condicionam a utilização de um grande número de mapas e que deverão ser claramente identificadas e, quando possível, quantificadas, tais como: 1) a variabilidade da qualidade da representação cartográfica ao longo dos séculos, 2) a qualidade dos pontos de controle e o erro admissível nas operações de georreferenciação ou interpolação e 3) o tamanho de *pixel* a seleccionar para a geração dos MDT. Serão estas as linhas orientadoras dos trabalhos a desenvolver.

4. Referências Bibliográficas

- Alegria, M. & Dias, M., 2000. Quatro séculos de imagens do litoral português: a região de Lisboa na cartografia náutica nacional e estrangeira. *STVDIA*, 56/57: p. 61-96.
- Baldaque da Silva, A., 1990. *Estudo histórico hydrographico sobre a barra e o porto de Lisboa, Tomo I e II (Atlas)*, Imprensa Nacional, Lisboa, 1893; edição fac-similada, Administração do Porto de Lisboa.
- Carvalho, E. 2013. “Estudo da evolução morfodinâmica das barras do Tejo.” Univ. de Perpignan, Via Domitia. Fac. des Sciences. Master Géosciences Marines et Environ. Aquatiques 2ème année. Mém..
- Gibson, A. 2011. “Georeferencing Historic Maps using Arcgis Desktop 10.” In: <http://cms.bsu.edu/Academics/Libraries/CollectionsAndDept/GISandMaps.aspx> Ball State University Libraries GIS Research and Map Collection.
- James, L., Hodgson, M., Ghoshal, S. & Latiolais, M., 2012. Geomorphic change detection using historic maps and DEM differencing: the temporal dimension of geospatial analysis. *Geomorphology*, 137: p. 181-198.

UMA ANÁLISE SIG DA EVOLUÇÃO DA FÓZ DO TEJO COM BASE EM MAPAS SEC. XVI A XIX

OBJETIVOS E ENQUADRAMENTO

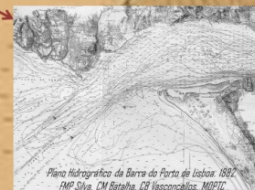
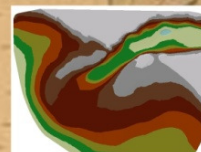
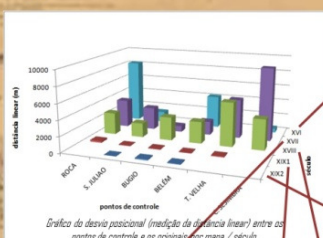
- Contributo para uma visão integrada da morfodinâmica do estuário exterior do rio Tejo com base em dados batimétricos antigos e com recurso a análise espacial SIG.
- Tese de mestrado (em finalização) em sistemas de informação geográfica.
- Disponibilidade de mapas antigos e ambição de utilizar ferramentas modernas.

ÁREA DE ESTUDO

RESULTADOS E CONCLUSÕES

- RMS diminui com a menor idade dos mapas.
- Ajustes melhores em mapas do séc. XIX (ver gráfico).
- A análise visual comparativa dos TIN aponta para uma maior qualidade dos dados base no séc. XIX.
- Não parece adequado aplicar esta análise quantitativa comparativa a mapas mais antigos que o séc. XIX.
- É possível aplicar uma análise semi-quantitativa em mapas de qualquer idade, no âmbito e nos termos do presente estudo.

METODOLOGIA



FÁTIMA VALVERDE
(Mestranda CGSIG, NOVAIS-UNL) g201103@novaims.unl.pt
PEDRO CABRAL
(Professor auxiliar, NOVAIS-UNL) pcabral@novaims.unl.pt
RUI TABORDA
(Professor auxiliar, DEP. GEOL. FCUL) rtabord@fc.ul.pt

IMAGEM FUNDO - Plano Hydrographico desde o Cabo da Roca ate Cacimbra. 1802. D. G. Trabalhos Geodesicos do Reino. BIBLIOTECA NACIONAL DE PORTUGAL

C& SIG



